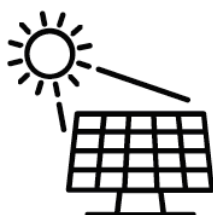




# CIEEMAT`17

III Congresso  
Ibero-Americano de  
Empreendedorismo, Energia,  
Ambiente e Tecnologia:  
Livro de atas

*12 a 14 de julho de 2017*



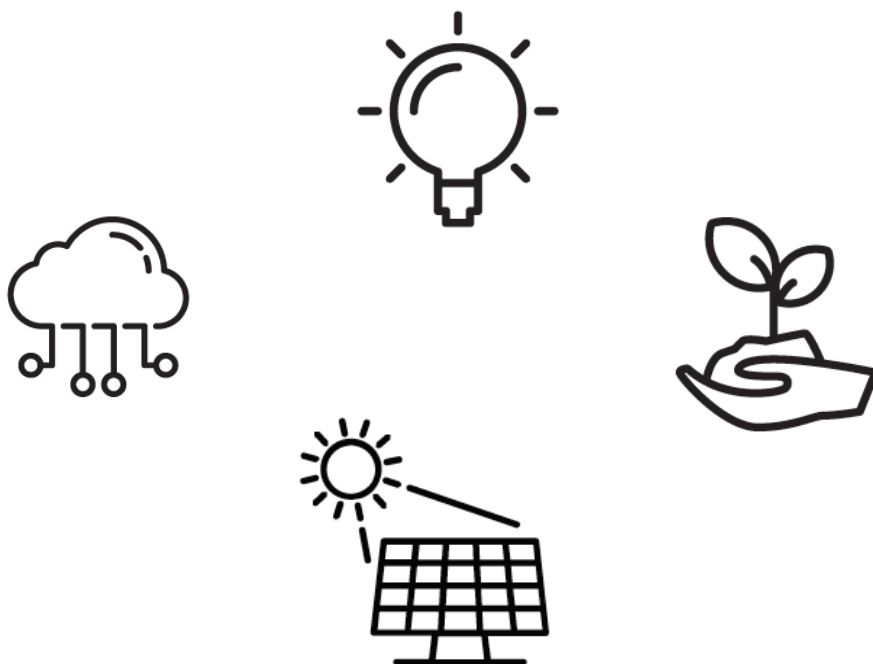






**III Congresso  
Ibero-Americano de Empreendedorismo,  
Energia, Ambiente e Tecnologia:  
Livro de atas**

*12 a 14 de julho de 2017*



**Título:** III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia: Livro de atas

**Editores:** Américo Vicente Leite  
Ana Isabel Pereira  
Ângela Paula Ferreira  
Artur Jorge Gonçalves  
João Paulo Almeida  
José Luis Calvo Rolle  
Manuel Joaquim Feliciano  
Orlando Manuel Soares  
Ronney Arismel Boloy

**Edição:** Instituto Politécnico de Bragança – 2017  
Campus de Santa Apolónia  
5300-253 Bragança  
Portugal

**Execução:** Orlando Manuel Soares

**ISBN:** 978-972-745-230-9

**URI:** <http://hdl.handle.net/10198/14339>

**Email:** cieemat2017@ipb.pt

**Apoios e Patrocínios:**



**Media Partner:**





*Américo Vicente Leite*

Presidente da Comissão Organizadora

Caros Autores e Participantes

Bem-vindos ao III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia (CIEEMAT).

Este Congresso, na sua terceira edição, dá continuidade ao trabalho desenvolvido no Brasil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – Rio de Janeiro, atravessando o oceano Atlântico para a sua primeira edição no contexto da Península Ibérica.

Concebido para englobar um conjunto abrangente de áreas temáticas, este evento serve de ponto de encontro entre profissionais, investigadores, professores e estudantes dos países Ibero-Americanos, num fórum que reforça o perfil internacional do Instituto Politécnico de Bragança, assim como das demais Instituições Organizadoras e Parceiras, designadamente, no âmbito de Programas de Dupla Diplomação.

Nos três dias do evento, esperamos que encontrem oportunidades para a partilha de ideias e resultados de investigação, reforçando ou estabelecendo novos contactos e parcerias no espaço Latino-Americano.

Por fim, espero que a Vossa estadia em Bragança seja agradável e que levem de volta gratas recordações do CIEEMAT 2017.

Saudações Cordiais.



Américo Vicente Leite (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

José Luis Calvo Rolle (Universidade da Coruña, Espanha)

Ronney Arismel Mancebo Boloy (CEFET/RJ, Brasil)

Ana Isabel Pereira (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Ângela Paula Ferreira (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Artur Jorge Gonçalves (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

João Paulo Almeida (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Manuel Joaquim Feliciano (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)

Orlando Manuel Soares (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)



Alberto Adrego Pinto (LIAAD, INESC TEC e FCUP, Portugal)  
Amilton Ferreira da Silva Junior(CEFET/RJ, Brasil)  
António João Carvalho Albuquerque (Universidade da Beira Interior, Portugal)  
Antonio Morán Palao (Universidad de León, Espanha)  
Bruno Baruque Zanón (Universidad de Burgos, Espanha)  
Cándido Quintana Pérez (Inst. Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana)  
Carlos Soares Borrego (Universidade de Aveiro, Portugal)  
Casimiro Adrião Pio (Universidade de Aveiro, Portugal)  
Claudinor Bittencourt Nascimento(UTFPR-Ponta Grossa, Brasil)  
Daniel de Cerqueira Lima Penalva dos Santos (IFPE, Brasil)  
Esteban Jove Pérez (Universidade da Coruña, Espanha)  
Francisco Manuel Freire Cardoso Ferreira (Universidade Nova de Lisboa , Portugal)  
Héctor Alaiz Moretón (Universidad de León, Espanha)  
Jakson Paulo Bonaldo (UTFPR-Campo Mourão, Brasil)  
João Azevedo (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Jorge Alberto de Medeiros Carvalho (CEFET/RJ, Brasil)  
Jorge Cara Jiménez (Universidad de León, Espanha)  
José Luis Casteleiro Roca (Universidade da Coruña, Espanha)  
Luis García Santander (Universidad de Concepción, Chile)  
Luis Hernandez Callejo (Universidad de Valladolid, Espanha)  
Manuel Ángel Graña López (Universidade da Coruña, Espanha)  
Marcus Val Springer (CEFET/RJ, Brasil)  
Miguel Latorre Zubiri (CEDER-CIEMAT, Espanha)  
Margarida Correia Marques (Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro , Portugal)  
María del Carmen Meizoso López (Universidade da Coruña, Espanha)  
María Isabel Fernandez Ibañez (Universidade da Coruña, Espanha)  
María Rosario Heras Celemín (CIEMAT, Espanha)  
Paulo Jorge Pinto Leitão (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Paulo Alexandre Gonçalves Piloto (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Ricardo Quijano Hurtado (Universidad Nacional de Colombia, Colômbia)  
Rui Esteves Araújo (FEUP, Portugal)  
Soledad Muniategui Lorenzo (Universidad da Coruña, Espanha)  
Tomás Figueiredo (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal)  
Vanessa de Almeida Guimarães (CEFET/RJ, Brasil)

Adérito Neto Alcaso  
Alberto José Leira Rejas  
Aldo R. Fernandes Nt  
Américo Vicente Leite  
Angel Luís Brito Sauvanell  
Ângela Paula Ferreira  
Antonio Masdías y Bonome  
Artur Jorge Gonçalves  
Benigno Antonio Rodríguez Gómez  
Carlos Jorge da Rocha Balsa  
Célia dos Anjos Alves  
David Villas Boas  
Débora Macanjo Ferreira  
Elizabeth Mendes de Oliveira  
Elza Maria Morais Fonseca  
Esteban Jove Pérez  
Francisco Javier Pérez Castelo  
Héctor Alaiz Moretón  
Helder Teixeira Gomes  
Isabel Fernandez Ibañez  
Izabel de Oliveira da Mota  
Jaqueline Maria Ribeiro Vieira  
Jesús Diego Chouz Gestoso  
João Carlos Azevedo  
João Paulo Almeida  
João Paulo Coelho  
João Paulo Teixeira  
Jorge Cara Jiménez  
José António Correia Silva  
José Antonio López Vázquez  
José dos Santos Batista

José Luis Calvo Rolle  
José Luís Sousa de Magalhães Lima  
José Ramon Copa Rey  
José Tadeu Marques Aranha  
Liliana Gomez Luna  
Luís Fernando dos Santos  
Luis Hernandez Callejo  
Luís Manuel Frölen Ribeiro  
Manuel Joaquim Feliciano  
Marcellus Henrique Rodrigues Bastos  
Marcus Val Springer  
Marcus Vinicius Oliveira Camara  
Margarida Correia Marques  
María Dolores Sánchez-Fernández  
Maria José Varadinov  
Mário Jorge Costa Tomé  
Mauro Oddo Nogueira  
Maxwell de Azevedo Ferreira  
Miguel Latorre Zubiri  
Orlando Manuel Soares  
Paula Odete Fernandes  
Paulo Miguel Pereira de Brito  
Paulo Sérgio Duque de Brito  
Ramiro José Espinheira Martins  
Rolando Carlos Pereira Simões Dias  
Ronney Arismel Mancebo Boloy  
Silvia Maria Afonso Fernandes  
Thayse Ferrari  
Tomás d'Aquino Figueiredo  
Valter Bruno Reis e Silva  
Vanessa de Almeida Guimarães



III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

CIEEMAT 2017 - PROGRAMA

	12/07/2017 Quarta-feira	13/07/2017 Quinta-feira	14/07/2017 Sexta-feira
08:30 - 09:00	Registo CIEEMAT	Registo CIEEMAT	Registo CIEEMAT
09:00 - 09:30	Sessão de Abertura	Sessão Plenária 2	Sessão Plenária 3
09:30 - 10:00	Sessão Plenária 1	Coffee break	Coffee break
10:00 - 10:30	Coffee break	Comunicações Orais 3	Comunicações Orais 6
10:30 - 11:00	Comunicações Orais 1	Almoço (Cantina alternativa)	Almoço (Cantina alternativa)
11:00 - 11:30	Almoço (Cantina alternativa)	Comunicação Convidada 1	Comunicação Convidada 2
11:30 - 12:00	Comunicações Orais 1	Comunicações Orais 4	Comunicações Orais 7
12:00 - 12:30	Almoço (Cantina alternativa)	Comunicações em Póster 2	Comunicações em Póster 3
12:30 - 13:00	Mesa redonda: Programas de Dupla Diplomação	Coffee break	Coffee break
13:00 - 13:30	Comunicações em Póster 1	Comunicações Orais 5	Workshop : Encontro de Interesses de Pesquisa para Projetos de Dupla Diplomação
13:30 - 14:00	Coffee break		
14:00 - 14:30	Comunicações Orais 2		
14:30 - 15:00	Comunicações Orais 2		
15:00 - 15:30	Comunicações Orais 2		
15:30 - 16:00	Comunicações Orais 2		
16:00 - 16:30	Comunicações Orais 2		
16:30 - 17:00	Comunicações Orais 2		
17:00 - 17:30	Comunicações Orais 2		
17:30 - 18:00	Comunicações Orais 2		
18:00 - 18:30	Comunicações Orais 2		
18:30 - 19:00	Comunicações Orais 2		
19:00 - 19:30	Comunicações Orais 2		
19:30 - 20:00	Comunicações Orais 2		
20:00 - 20:30	Comunicações Orais 2		
20:30 - 21:00	Comunicações Orais 2		
21:00 - 21:30	Comunicações Orais 2		
21:30 - 22:00	Comunicações Orais 2		



Vladimiro Miranda



O Professor Vladimiro Miranda é licenciado em Engenharia Elétrica e doutorado em Engenharia Eletrotécnica pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Atualmente é Professor Catedrático nesta Faculdade e Diretor/Membro do Conselho de Administração do INESC-TEC, uma organização privada de I&D reconhecida como Laboratório Associado pelo Ministério da Ciência e com a Universidade do Porto como principal associado. Também é Diretor do INESC P&D Brasil, uma organização privada de I&D com sede em São Paulo, e Diretor do OCEANUS - Investigação e Desenvolvimento Marinho, um consórcio da Universidade do Porto para a I&D multidisciplinar para a transferência de tecnologia associada aos oceanos, à economia do mar e à exploração em águas profundas. É Fellow do IEEE e autor de mais de 200 publicações.

João Joanaz de Melo



O Professor João Joanaz de Melo é licenciado e doutorado em Engenharia do Ambiente. Atualmente é Professor na Universidade Nova de Lisboa, desenvolve ensino, investigação e consultoria sobre ecodesign, avaliação de impactos, eficiência energética, sustentabilidade e instrumentos económicos de ambiente, entre outros temas. Orientou estágios e projetos de investigação aplicada em mais de 200 parcerias universidade-empresas. É autor do livro de divulgação científica "O que é Ecologia" e de 221 publicações científicas (91 internacionais). Amante da Natureza desde sempre, ativista de ambiente nas horas vagas, foi fundador e presidente do GEOTA.

Moisés López



O Professor Moisés López é licenciado em Química pela Universidade de Santiago de Compostela e Doutorado em Química pela Universidade da Coruña. Diretor da Faculdade de Ciências da Universidade da Corunha. Investigador no domínio das interações entre a Química Orgânica Física e a Química Ambiental, com particular incidência nos processos de tratamento de águas para consumo humano e águas residuais. Desenvolveu Pós-doutoramentos e estadias em diversas Universidades, incluindo na University College of Dublin (Irlanda), University of Newcastle upon Tyne (RU), Max-Planck Institut für Strahlenchemie (Alemanha) e Universidade de Coimbra. Autor de cerca de 130 publicações, incluindo publicações em revistas de elevado impacto.



50606 Utilização de Solos Residuais para Remoção de Matéria Orgânica e Nutrientes de Águas Residuais Tratadas .....	1
50673 Winery Wastewater Biodegradability Electrodialysis Flow .....	7
50730 Otimização no Tratamento de Água Utilizando Goma Xantana como Auxiliar de Floculação .....	13
50780 Avaliação da Eficiência de Retenção de Solos de Cobertura de Aterros Controlados por meio de Contaminação de Nanopartículas por CuO .....	17
51039 Anaerobic Co-digestion of Slaughterhouse Wastes and Forage Palm (Opuntia ficus-indica Mill) for Biogas Production .....	23
50611 Diagnóstico Parcial do Saneamento Básico: Estudo de Caso no Assentamento Rural Nossa Senhora Aparecida, Mariluz, Paraná, Brasil .....	27
50589 Análise dos Desvios de Idealidade em Reatores Combinados Anaeróbio-Aeróbios de Leito Fixo .....	33
50836 Avaliação da Concentração de Metais Pesados em Sedimentos de Rios da Bacia Hidrográfica Rio do Campo, Município de Campo Mourão, Paraná – Brasil .....	39
49002 Indicadores de Sustentabilidade em uma Indústria de Fertilizantes .....	45
49830 Análise de Ciclo de Vida de Produção de Autoclaves em Empresa de Biossegurança .....	51
50654 Revisão dos Requisitos para Implementação de um Sistema de Gestão Ambiental de Acordo com a ISO 14001:2015 .....	57
50721 Detecção Remota e Termografia por Infravermelhos Aplicada a Parcela no Baixo Mondego, Portugal .....	63
50729 Modelo de Gestão Universitária: Uma Proposta para Avaliação e Melhoria de Desempenho das IES Brasileiras .....	67
50736 Modelo de Saneamento Rural Desenvolvido para Pequenas Comunidades do Paraná – Brasil .....	77
50740 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Água Bela, Goioerê, Paraná-Brasil .....	85
50678 Estudo Cinético do Processo de Eletrocoagulação Aplicado ao Tratamento de Água .....	91
49005 A study of the Hydrodynamics Behavior in a Pilot Scale Bubbling Fluidized Bed Biomass Gasifier .....	97

50679	Study of Biodiesel Production Through Esterification Catalysed by Imidazolium-Based Ionic Liquids .....	103
50823	Performance do Processo de Digestão Anaeróbia na Valorização Energética de Resíduos de Kiwi .....	109
51200	Análise de um Sistema de Aquecimento Urbano no Campus do Instituto Politécnico de Bragança .....	115
49081	Using Zooplankton Community as Indicator of Seasonal Changes in Some Water Quality Parameters in a Meso-Eutrophic Reservoir .....	121
48831	Cassava-Processing Wastewaters: Bioremediation Potential of Immobilized <i>Chlorella vulgaris</i> (Chlorophyceae) .....	127
48895	Ação dos Coagulantes Tanino, Moringa Oleifera e Cloreto Férrico Associados a Filtração Direta no Tratamento de Água em Corpos Lóticos na Região Sul do Brasil .....	131
50711	Avaliação de Impactos Ambientais na Bacia do Ribeirão Cambé em Londrina, PR, Brasil .....	135
51168	Análise do Potencial de Eutrofização Associado à Operação de uma ETAR Urbana .....	141
48308	Destinação adequada de tambores metálicos usados no Brasil – Uma análise Econômica .....	147
50687	Design of a Self-Sustainable System Based on Renewable Energy Sources for a Small Museum of Science Dissemination - The House of Silk .....	155
49099	Aprovechamiento de los Recursos Renovables e Integración de las TICs: Ejemplo Práctico de una Microrred Eléctrica .....	161
49052	Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas .....	167
50686	Performance Evaluation of Different Methods in the Series Resistance Estimation of Photovoltaic Modules .....	173
50571	Protótipo Acadêmico de uma Turbina Tesla com Enfoque em Reaproveitamento de Recursos .....	179
48856	Protótipo de Veículo Movido a Energias Renováveis .....	185
50269	Modelo para Prever Evolução do Preço de Commodities Minerais com o Tempo: Aplicação para o Preço das Terras-Raras .....	191
50270	Materiais Magnéticos para Motores de Carros Elétricos .....	197
50591	Máquinas de Stirling e seu Potencial para a Energia Renovável .....	203
50592	Dessalinização e sua Relevância para o Brasil em um Futuro Próximo .....	209

50715	Estado da Arte sobre as Inovações na Cadeia de Processamento da Mandioca para Produção de Farinha Seca .....	215
50748	Análise das Condições de Saúde e Segurança do Trabalho de uma Empresa de Mineração Localizada no Centro-Oeste Mineiro .....	221
50750	Numerical Analysis of a Hyperelastic Material Under Pure Shear.....	227
50969	Aplicação do PDMS ao Estudo Biomecânico de Aneurismas Cerebrais: Revisão .....	231
50766	Controle de Temperatura: Comparativo entre a Viabilidade da Utilização de Condicionadores de Ar e Climatizadores Evaporativos .....	239
48954	Impacto das Políticas de Responsabilidade Social e Ambiental na Decisão de Compra do Consumidor.....	245
51108	Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Alegria – Medianeira – PR.....	251
50824	Tratamento e Valorização Energética de Efluente Agroindustrial em Reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) .....	257
51148	Avaliação da Complexidade e Compacidade em Bairros Contrastantes da Cidade de Bragança .....	263
51167	Análise do Efeito de Ilha de Calor Urbano na Cidade de Bragança .....	269
51189	Estudo do Potencial de Aplicação de Um Sensor de Baixo Custo para Medição de Metano em Áreas Urbanas: Ensaio Preliminares .....	275
50783	Contributos para a Caracterização Energética de Edifícios Habitacionais do Concelho de Bragança .....	281
50663	Jerarquización de Objetivos de Gestión para el Parque Natural de Montesinho (Portugal) .....	287
50731	Monitorização Remota de Ecossistemas de Elevado Valor Natural: O Caso da Quercus Pyrenaica Willd. no Parque Natural de Montesinho .....	293
50652	Grapevine Bioclimatic Indices in Relation to Climate Change: a Case Study in the Portuguese Douro Demarcated Region.....	297
50710	Pegada de Carbono da Produção de Carne Bovina no Nordeste de Portugal: Comparação entre Dois Sistemas Produtivos.....	303
50578	Anaerobic Digestion of Fourth Range Fruit and Vegetable Products .....	309
50944	Solos e Risco de Erosão nas Áreas Ardidas no Último Quarto de Século no Distrito de Bragança .....	315
48962	Recuperación de nutrientes para producción de fertilizantes mediante sistemas bioelectroquímicos .....	321

49016	Identificação das Deficiências Econômicas e Culturais do Atual Mercado Musical no Brasil e Apresentação do Software e do Modelo Canvas da Tecnologia Disrupt Orchestra .....	325
50685	Estudo da Caracterização do PDMS e suas Aplicações na Biomédica .....	331
50747	Análise dos Atores que Promovem a Cultura Empreendedora na Região da Costa Verde/RJ – Brasil .....	337
48867	Energy certification proposal, using dynamic simulation, as an energy management tool ISO 50001 Versus energy audit in buildings.....	343
51458	Interface Gráfica Via RNA para Classificação de Solos em Recuperação em Função dos Atributos Físicos e dos Tratamentos .....	349
50705	Dimensionamento de uma câmara de liofilização e de uma câmara de secagem por ar seco frio para alimentos .....	355
50713	Estimativa da Produção de Capim Marandu em Sistemas Integrados .....	363
50596	Simulação do Tratamento de Águas Residuais Urbanas por um Sistema de Lamas Ativadas .....	369
48945	Um cruzeiro eólico-solar pelo lago de Sanabria (NW Espanha): modelo inovador de gestão ecoturística para a interpretação ambiental em ecossistemas aquáticos dulçaquícolas .....	375
50717	Armazenamento de Carbono em Solos Desenvolvidos sob Quatro Espécies Florestais na Região Mediterrânea.....	379
50616	Transformação Digital – As Smart Cities e os Recursos Tecnológicos .....	383
50696	Drood, Desidratação de Frutas e Vegetais por Ar Seco .....	391
50733	Avaliação do Valor Natural da Paisagem: o Caso da Fragmentação do Carvalho (Quercus pyrenaica Willd.) no Parque Natural de Montesinho.....	397
50745	Estado da Arte da Incorporação de um Sistema de Cogeração de Energia em uma Planta de Produção de Biodiesel e Hidrogênio .....	403
50819	Gaseificador de Blocos de Madeira em Leito Fluidizado: uma Revisão.....	407
50024	Social Entrepreneurship, Psychological Coaching as a Developer of Competences.....	413
50653	Evaluating the Effect of Glycerine Addition on Anarobic Digestion .....	419

# Utilização de Solos Residuais para Remoção de Matéria Orgânica e Nutrientes de Águas Residuais Tratadas

Flora Silva<sup>1</sup>, Margarida Arrobas<sup>4</sup>  
ESTiG<sup>1</sup>, ESA – CIMO<sup>4</sup>  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
[flora@ipb.pt](mailto:flora@ipb.pt)<sup>1</sup>, [marrobas@ipb.pt](mailto:marrobas@ipb.pt)<sup>4</sup>

António Albuquerque<sup>2</sup>, Victor Cavaleiro<sup>3</sup>  
Faculdade de Engenharia  
Universidade da Beira Interior  
Covilhã, Portugal  
[antonio.albuquerque@ubi.pt](mailto:antonio.albuquerque@ubi.pt)<sup>2</sup>, [cavaleiro@ubi.pt](mailto:cavaleiro@ubi.pt)<sup>3</sup>

**Resumo**—O presente estudo pretende mostrar que os solos residuais graníticos da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda), na região da Beira Interior de Portugal, apresentam características físico-químicas e mineralógicas favoráveis à infiltração de águas residuais tratadas (ART) para a recarga artificial de aquíferos (RAQ). Os resultados dos ensaios de sorção em *batch* indicam que o solo apresenta capacidade reativa para remover, a eficiências elevadas, a carga residual de fosfato comum em ART.

**Palavras Chave**—solos residuais; matéria orgânica; azoto; fósforo; sorção

## I. INTRODUÇÃO

A prática de reutilização de águas residuais tratadas (ART) tem vindo a ser motivada essencialmente pela necessidade de proteção dos meios hídricos recetores dos efluentes de ETAR e pela sua escassez, podendo ser decorrente de uma situação natural ou não, exemplificada respetivamente pelo clima da região ou como consequência do crescimento demográfico e do desenvolvimento sócio-económico.

Existe assim a necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos, na qual se inclui a conservação da água, e onde a reutilização de ART representa uma componente estratégica importante [1].

Os recursos hídricos são uma importante fonte de abastecimento urbano, industrial e agrícola. No entanto, quando são sobre-explorados, os volumes extraídos não são compensados pela recarga de aquíferos, provocando um rebaixamento do seu nível que pode levar à sua contaminação por água do mar ou fontes de poluição difusa [2].

Em vários países e regiões do mundo que têm evidenciado grandes dificuldades em satisfazer as suas necessidades de água (em especial zonas áridas e semi-áridas) as soluções tomadas para reduzir a escassez de água têm incluído a recarga artificial de aquíferos (RAQ) com ART [3, 4, 5].

A RAQ com ART é uma das formas que pode contribuir para manter as reservas de água no solo [6], podendo ser feita por injeção direta ou por infiltração no solo (neste caso, as características da água sofrem um tratamento de afinação natural proporcionado por mecanismos de sorção,

biodegradação e filtração). A recarga indireta por infiltração é um método interessante para a gestão de volumes extraídos em zonas de sobre-exploração do recurso, além de funcionar como processo de tratamento de afinação. A infiltração rápida em bacias de infiltração permite a afinação do efluente no solo, funcionando este como um filtro (é o designado *Soil Aquifer Treatment* (SAT)) [7].

Quando a infiltração é efetuada à superfície do solo ou na zona não saturada (zona vadosa), grande parte da matéria orgânica, formas de azoto, fósforo e metais pesados são removidos ou convertidos no primeiro metro de solo [7]. A maior preocupação reside nos nitratos, que resultam da oxidação do amónio, e na carga bacteriológica. Contudo, se a zona de infiltração se localizar em solos permeáveis, com menos de 10% de argila e com propriedades reativas, com uma altura mínima da zona não saturada de 5 m [8], que permita taxas de infiltração entre 0,2 e 1 m/d, a concentração dos referidos poluentes e patogénicos será reduzida significativamente.

Vários estudos [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16] evidenciaram já a capacidade de solos para a remoção de matéria orgânica residual, azoto, fósforo, metais pesados e microrganismos patogénicos.

Os solos residuais são constituídos por argilas como a caulinite, illite, montmorilonite, entre outras, que têm propriedades reativas que lhes permitem remover cátions metálicos, bem como cátions inorgânicos, essencialmente por mecanismos de sorção (e.g. adsorção, troca iónica e complexação e precipitação) [16]. Contudo, as partículas de solo, como argilas, siltes e areias, podem ainda ser colonizadas com microrganismos que formam um biofilme com capacidade para remover compostos orgânicos e nutrientes (azoto e fósforo), por mecanismos de biodegradação (e.g. respiração aeróbia, anóxica e anaeróbia, nitrificação e desnitrificação) e biosorção, tal como já foi comprovado em [16]. Em simultâneo, a matéria sólida residual em suspensão e os microrganismos podem ficar retidos na matriz do solo por filtração. Contudo, é difícil avaliar a eficiência e o modo de remoção de poluentes localmente, sendo mais prático usar colunas laboratoriais ou ensaios em *batch* [16].



O objetivo principal do estudo consistiu em utilizar a componente fina de solos residuais graníticos provenientes da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda), para avaliar a capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes (amónio, nitrato e fosfato), bem como verificar quais os mecanismos de sorção responsáveis pela remoção desses poluentes, realizando ensaios laboratoriais em *batch*.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Ensaios de caracterização do solo residual

Na Quinta de Gonçalo Martins (Guarda) (Fig. 1 e 2), na região da Beira Interior de Portugal, num dos locais selecionados para infiltração de ART provenientes da ETAR de Vila Fernando (Guarda) [17, 18], foi recolhida uma amostra de solo residual granítico (Fig. 3-a). Para o estudo, extraiu-se do solo a componente inferior a 0,075 mm (fino do solo) (Fig. 3-b), por ser nesta que se encontram as frações mais reativas do solo, nomeadamente silte e argila.

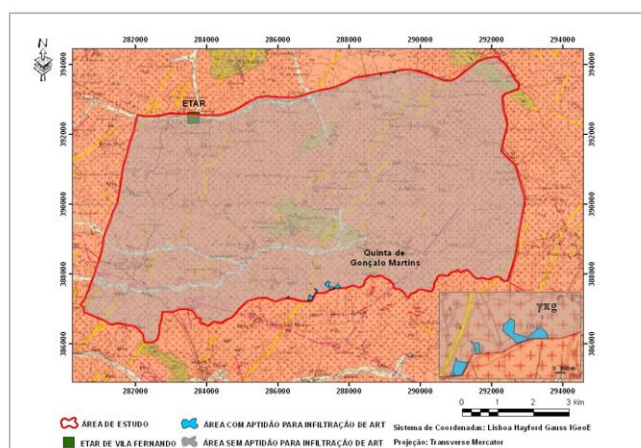


Fig. 1. Localização da zona de recolha de solo para infiltração de águas residuais tratadas (manchas a azul) no extrato da Carta Geológica da Guarda: Folha 18-C)



Fig. 2. Local de recolha da amostra de solo (Quinta de Gonçalo Martins, Guarda, coordenadas M = 287699 m e P = 387657 m)

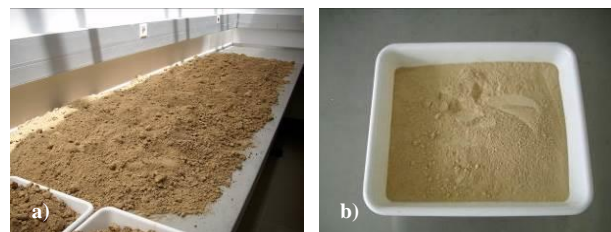


Fig. 3. Amostras de a) solo e b) fino do solo

Para perceber a importância das propriedades do solo na remoção de poluentes, determinaram-se os volumes diferencial e cumulativo do fino do solo em função do tamanho das partículas, bem como a superfície específica, por difração laser, recorrendo ao equipamento Coulter LS200. A densidade das partículas sólidas, foi determinada pelo método do picnómetro [19] e a porosidade usando os procedimentos descritos em [16]. A composição mineralógica qualitativa do solo, foi determinada através de Difração de Raios-X (DRX) com um difractor Rigaku, DMAX III/C, EUA. Para a análise morfológica e microestrutural, foi utilizado o Microscópio Eletrónico de Varrimento (SEM), Hitachi S-2700, EUA. A composição química (análise em óxidos e elementar), foi determinada com o Espectrómetro de Energia Dispersiva (EDS) que se encontra acoplado ao SEM. A capacidade de troca catiónica foi determinada, pelo método do acetato de amónio tamponizado a pH de 7, descrito em [20]. A matéria orgânica pelo método de Walkley-Black, descrito por [21] e o pH do solo, determinado em H<sub>2</sub>O e KCl pelo método potenciométrico, em suspensão (solo: água, 1:2,5), descrito por [22].

### B. Ensaios de sorção em batch com matéria orgânica e nutrientes

Nos ensaios de sorção em *batch*, foram utilizadas soluções de acetato de sódio (CH<sub>3</sub>COONa\*3H<sub>2</sub>O), cloreto de amónio (NH<sub>4</sub>Cl), nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e hidrogeno fosfato dipotássico (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>\*3H<sub>2</sub>O), para estudar a remoção dos iões acetato (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>), amónio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), respetivamente. A quantidade de iões removidos foi quantificada através da variação da concentração no tempo de CQO (carência química de oxigénio), N-NH<sub>4</sub> (amónio), N-NO<sub>3</sub> (nitrato) e P-PO<sub>4</sub> (fosfato).

Para o estudo da cinética de reação foram utilizadas soluções aquosas de CH<sub>3</sub>COONa\*3H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub>Cl, KNO<sub>3</sub> e K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>\*3H<sub>2</sub>O com as concentrações teóricas (C) dos solutos CQO = 0, 75, 100, 150, 200 e 300 mg/L; N-NH<sub>4</sub> = 0, 5, 10, 20, 30 e 50 mg/L e (N-NO<sub>3</sub> e P-PO<sub>4</sub>) = 0, 2, 5, 10, 15 e 20 mg/L. Em 6 recipientes de vidro de 500 mL colocaram-se 0,5 g de fino do solo. A cada recipiente foram adicionados 200 mL de solução aquosa de iões com as concentrações de solutos referidas. O conteúdo dos recipientes foi agitado durante 24 horas, tendo sido retirados 5 mL de amostra líquida para análise aos tempos 0; 0,25; 0,75; 2; 5; 11 e 24 horas e registados os valores de pH e temperatura.

O equipamento experimental utilizado consistiu num agitador mecânico Flask Shaker SF1 da Stuart Scientific (Inglaterra), o qual foi calibrado de modo a promover uma rotação constante e igual a 120 oscilações por minuto, tal como



utilizado por [10]. Para medição do pH e temperatura foi utilizada uma sonda SenTix 41 ligada a um medidor multiparamétrico Multi 340i, ambos da marca WTW (Alemanha). A determinação de CQO, N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub> e P-PO<sub>4</sub> seguiu métodos de análise padrão do Standard Methods [23].

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### A. Caracterização do solo residual

O solo utilizado no estudo tem uma fração baixa de argila (dimensão de partícula inferior a 2 µm), de aproximadamente 5% (Fig. 4), o que significa que a maior parte dos finos são essencialmente siltosos. De acordo com [8], para evitar a colmatção dos solos e assegurar o tratamento da água residual, o solo não deve ter mais de 10% de argila.

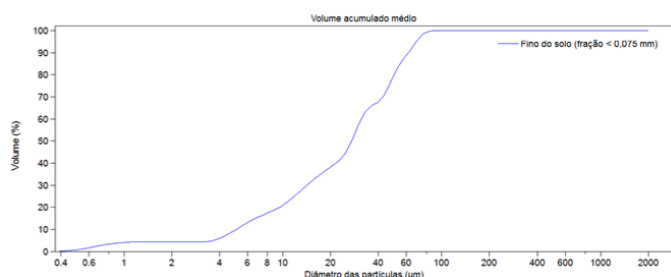


Fig. 4. Diagrama cumulativo da fração volumétrica correspondente ao fino do solo

Na Tabela I, apresentam-se as características físico-químicas do fino do solo relevantes para o estudo.

Tabela I. Características físico-químicas do fino do solo

Parâmetro	Valor
D <sub>10</sub> ; D <sub>30</sub> ; D <sub>50</sub> e D <sub>60</sub>	0,005 mm; 0,014 mm; 0,027 mm; 0,031 mm
Porosidade (n)	48,00 %
Densidade das partículas sólidas (G <sub>s</sub> )	2,65
Coefficiente de permeabilidade (k)	3,72 x 10 <sup>-6</sup> m/s
Superfície específica	0,29 m <sup>2</sup> /g
Óxidos:	
SiO <sub>2</sub>	60,44 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,76 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,99 %
K <sub>2</sub> O	3,81 %
Capacidade de Troca Catiônica pH 7	11,68 cmol <sub>c</sub> /kg
Teor em Matéria Orgânica	0,45 %
pH (1:2,5) H <sub>2</sub> O e KCl	4,44; 3,48

A amostra apresenta uma densidade (G<sub>s</sub>) de 2,65, porosidade (n) de 48,00 % e superfície específica de 0,29 m<sup>2</sup>/g. A permeabilidade (k) do fino do solo é baixa (k = 3,72x10<sup>-6</sup> m/s). No entanto, solos com permeabilidade da ordem de 25 mm/h são apropriados para infiltração controlada de ART [24]. Contém essencialmente sílica (60,44 %) e alumina (31,76 %), com teores mais baixos de ferro (3,99 %) e potássio (3,81 %).

A capacidade de troca catiónica (a pH = 7) é média (11,68 cmol<sub>c</sub>/kg) [25], favorecendo mais a permuta do cátion Ca<sup>2+</sup>, em relação ao Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>, por se tratar do ião mais abundante. O teor em matéria orgânica é muito baixo (0,45 %), sendo o solo muito ácido (pH = 4,44).

O difractograma da Fig. 5 mostra que, a composição mineralógica consiste essencialmente em quartzo, moscovite, ilite, caulinite e também esmectite (identificada na fração inferior a 2 µm), constituindo a caulinite cerca de 60% do mineral argiloso presente no solo. A Fig. 6 mostra a morfologia das partículas de fino do solo.

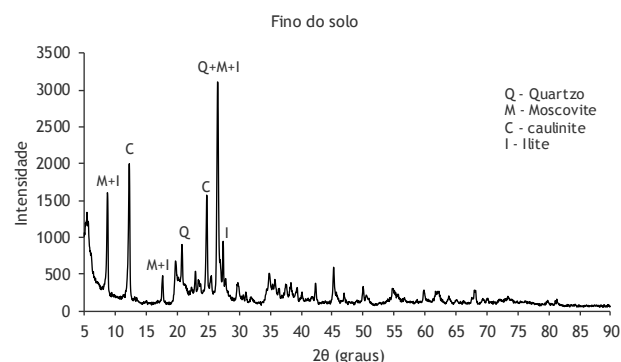


Fig. 5. Difractograma de raios-X do fino do solo

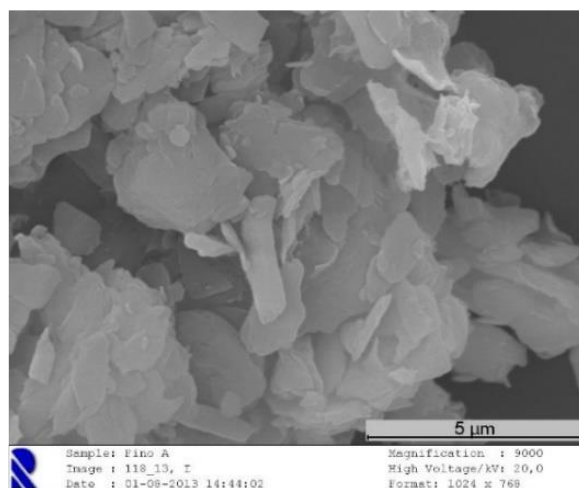


Fig. 6. Imagem SEM do fino do solo, ampliação de 9000x

O complexo argilo-coloidal deste solo apresenta propriedades reativas que lhe permitem remover poluentes por mecanismos de sorção, bem como uma superfície específica adequada para o desenvolvimento do biofilme com capacidade

para remover poluentes e patogénicos através de mecanismos de biodegradação [16].

#### B. Avaliação da remoção de matéria orgânica e nutrientes por sorção

Em todos os ensaios em *batch* realizados por [16], na generalidade, observou-se uma diminuição do pH logo após 15 minutos de contacto, continuando a decrescer ao longo do tempo até às 24 horas de duração dos ensaios.

Os resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação, revelam que as concentrações de equilíbrio ( $C_e$ ) foram atingidas entre as 5 h e as 11 h de contacto, tendo sido observadas eficiências de remoção (ER) de CQO de 12,8%, de N-NH<sub>4</sub> de 19,9% e de N-NO<sub>3</sub> de 5,9% para as  $C_e$  de 66,5 mg CQO/L, 40,23 mg N-NH<sub>4</sub>/L e 2,71 mg N-NO<sub>3</sub>/L. As referidas ER foram baixas, tendo no entanto ocorrido por mecanismos de remoção biológica no solo, tal como observado por [16] em ensaios em coluna laboratorial, nos quais a remoção dos referidos parâmetros foi elevada.

No entanto, os resultados presentes na Tabela II permitem observar que, para o P-PO<sub>4</sub>, as  $C_e$  foram atingidas entre as 5 h e as 11 h de contacto, tendo sido observadas ER de 83,0%, 90,1%, 74,0%, 60,1% e 55,8% para as  $C_e$  de 0,53 mg/L, 0,56 mg/L, 2,77 mg/L, 6,16 mg/L e 8,87 mg/L, respetivamente.

Tabela II. Resultados dos ensaios para o estudo da cinética de reação para as concentrações teóricas (C) do soluto P-PO<sub>4</sub> = 2, 5, 10, 15 e 20 mg/L

Tempo	Concentração após contacto com o fino do solo (mg/L)				
0 h	3,12	5,66	10,67	15,43	20,07
0,25 h	1,36	2,12	7,12	11,13	15,12
0,75 h	0,87	1,09	4,16	9,32	12,34
2 h	0,66	0,87	3,09	7,22	10,21
5 h	<b>0,53<sup>a)</sup></b>	<b>0,56<sup>a)</sup></b>	2,86	6,36	9,31
11 h	0,58	0,49	<b>2,77<sup>a)</sup></b>	<b>6,16<sup>a)</sup></b>	<b>8,87<sup>a)</sup></b>
24 h	0,52	0,52	2,71	5,88	7,61

<sup>a)</sup> A negrito apresentam-se as concentrações no equilíbrio

De referir que, a remoção biológica de P-PO<sub>4</sub> no solo é baixa [7] e ocorre normalmente por biosorção (i.e. fica adsorvido nos polímeros que constituem o biofilme) e por complexação e precipitação a pH baixo (normalmente complexa com o alumínio e o ferro, precipitando na forma de fosfatos), tal como referido por [10] e [26]. Neste estudo, o pH variou entre 8,13 (início) e 5,97 (final), com valores mais baixos para a concentração inicial ( $C_i$ ) de 3,12 mg/L e subindo para as concentrações mais elevadas.

#### IV. CONCLUSÕES

Este estudo permite concluir que o solo residual granítico da Quinta de Gonçalo Martins (Guarda, Portugal) tem propriedades reativas que lhe conferem uma boa capacidade de remoção de fosfato por mecanismos de sorção (complexação e

precipitação), verificando-se uma eficiência de remoção máxima de 90,1%, para a concentração inicial de 5,66 mg P-PO<sub>4</sub>/L, permitindo-lhe atuar como uma barreira à contaminação de águas subterrâneas durante a RAQ com ART. A utilização deste solo como meio de enchimento de infraestruturas de infiltração, poderá ainda constituir uma solução económica, dado que se trata de uma matéria-prima local.

#### REFERÊNCIAS

- [1] H. Marecos do Monte e A. Albuquerque, Reutilização de águas residuais: Guia Técnico, ERSAR, Lisboa, no 14, 2010, p.339.
- [2] A. Werner, A review of seawater intrusion and its management in Australia: Hydrogeology Journal, vol. 18, no 1, 2010, pp.281-285.
- [3] J. Díaz, J. Gomez, J. Armayor e S. Castano, Recarga artificial de acuíferos. Síntesis metodológica. Estudio de actuaciones realizadas en la Provincia de Alicante. J.A. Hernández (Edt). Ediciones López Geta, Instituto Geológico e Mineiro de Espanha, Madrid, Espanha, 2000, p.157.
- [4] P. Nojd, A. Lindroos, A. Smolander, J. Derome, I. Lumme e H. Helmsaari, Artificial recharge of groundwater through sprinkling infiltration: Impacts on forest soil and the nutrient status and growth of Scots pine, The Science of the Total Environment, vol. 407, no 10, 2009, pp. 3365-3371.
- [5] M. Lluria, Successful application of managed aquifer recharge in the improvement of the water resources management of semi-arid regions: Examples from Arizona and the Southwestern U.S.A, Boletín Geológico y Minero, vol.120, no 2, 2009, pp.111-120.
- [6] H. Bower, Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering, Hydrogeology Journal, vol.10, 2002, pp.121-142.
- [7] T. Asano, F. Burton, H. Leverenz, R.E. Tsuchihashi e G. Tchobanoglous, Water Reuse: Issues, Technologies and Applications, McGraw-Hill, New York, EUA, 2007.
- [8] H. Kallali, M. Anane, S. Jellali e J. Tarhouni, GIS-Based multi-criteria analysis for potential wastewater aquifer recharge sites, Desalination, vol. 215, 2007, pp.111-119.
- [9] R. Knox, D. Sabatini e L. Canter, Subsurface Transport and Fate Processes, Lewis Publishers, Florida, USA, 1993, p.430.
- [10] H. Ruan e R. Gilkes, Kinetics of phosphate sorption and desorption by synthetic aluminous goethite before and after thermal transformation to hematite, Clay Minerals, vol. 31, no 1, 1996, pp.63-74.
- [11] S. Jellali, T. Sediri, H. Kallali, M. Anane e N. Jedidi, Analysis of hydraulic conditions and HRT on the basis of experiments and simulations on soil column, Desalination vol. 246, 2009, pp.435-443.
- [12] I. Chaari, M. Medhioub e F. Jamoussi, Use of clay to remove heavy metals from Jebel Chakir landfill leachate. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, vol. 6, no 2, 2011, pp.143-148.
- [13] H. Talaat, N. El Defrawy, A. Abulnour e A. Tawfik, Evaluation of heavy metals removal using some Egyptian clays, Proc. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, IPCBEE, vol. 6, 2011, pp.37-42.
- [14] H. Essandoh, C. Tizaoui, M. Mohamed, G. Amy e D. Brdjanovic, Soil aquifer treatment of artificial wastewater under saturated conditions, Water Research, vol. 45, 2011, pp.4211-4226.
- [15] S. Lukman, M. Essa, N. Mu'azu, A. Bukhari, C. Basheer, Adsorption and desorption of heavy metals onto natural clay material: Influence of initial pH, Journal of Environmental Science and Technology, vol. 6, no 1, 2013, pp.1-15.
- [16] F. Silva, Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas, Tese de Doutoramento, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2015, p.490.
- [17] F. Silva, Estudo do potencial de recarga de aquíferos com águas residuais tratadas utilizando Sistemas de Informação Geográfica, Dissertação de Mestrado, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2011, p.87.
- [18] F. Silva, A. Albuquerque, H. Marecos do Monte, V. Cavaleiro e A. Carvalho, Site selection for reclaimed water infiltration using GIS tools:

### III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia

- Atas da IWA Regional Conference on Wastewater Purification and Reuse, Creta, Grécia, 2012.
- [19] Norma Portuguesa Definitiva NP 83, Solos, Determinação da densidade das partículas, IGPAL, Lisboa, Portugal, 1965.
- [20] V. Houba, J. van der Lee e I. Novozamsky, Soil Analysis Procedures, Other procedures Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, 1995.
- [21] D. Nelson e L. Sommers, Total carbon, organic carbon and organic matter, In Methods of soil analysis, Part 3, Chemical Methods – SSSA, Book series, no 5, 1996, pp.961-1010.
- [22] Van Reeuwijk, Procedures for soil analysis: 6ª Edição, ISRIC, FAO, 2002.
- [23] APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20ª Edição, American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation, Washington DC, EUA, 1999.
- [24] F. Pedrero, Sustainable irrigation management with reclaimed water: Tese de Doutoramento, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Múrcia, Espanha, 2010, p.155.
- [25] LQARS, Manual de fertilização das culturas: INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, Lisboa, Portugal, 2006, p.282.
- [26] J. Costa, Caracterização e Constituição do Solo, 8ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, Portugal, 2011, p.527.



# Winery Wastewater Biodegradability

## Electrodialysis flow

Margarida Oliveira

Instituto Politécnico de Santarém, ESAS, UIIPS, Quinta do Galinheiro, São Pedro, 2001-904, Santarém, Portugal  
Universidade de Lisboa, ISA, LEAF, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal  
margarida.oliveira@esa.ipsantarem.pt

Juliana Farias

Instituto Politécnico de Santarém, ESAS, UIIPS, Quinta do Galinheiro, São Pedro, 2001-904 Santarém, Portugal  
CEFET, R. Gen. Canabarro, 485 – Maracanã, 20271-204 Rio de Janeiro, Brasil

Henrique Silva

Universidade de Lisboa, ISA, LEAF, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

Joana Ricardo

Instituto Politécnico de Santarém, ESAS, UIIPS, Quinta do Galinheiro, São Pedro, 2001-904, Santarém, Portugal

Elizabeth Duarte

Universidade de Lisboa, ISA, LEAF, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

**Abstract**— The winery industry produces wastewater with different characteristics and biodegradability along the season. To establish the most effective treatment system is necessary to study the composition of wastewater and their biodegradability, avoiding risks associated with poor adaptation of the system to new wastewater flows. The objective of this study was to evaluate the kinetic parameters of winery wastewater produced during the electrodialysis process, under aerobic treatment. Thereby, it was carried out under different operating conditions by changing the organic loading rate, at a lab scale and at a pilot scale to evaluate Air Micro-Bubble Bioreactor performance. It was found that biodegradability of the electrodialysis flow was similar to other operating periods. A maximum COD (chemical oxygen demand) removal efficiency of 99% was obtained, similar to vintage period, which indicates that the aerobic treatment is adequate for the electrodialysis wastewater stream.

**Keywords**—aerobic biological treatment; biodegradability; electrodialysis; kinetics; winery wastewater.

### I. INTRODUCTION (HEADING 1)

The wine industry is among the agro-industrial activities that produce seasonal wastewater. The wastewater is generated mainly during cleaning operations, such as rinsing of fermentations tanks, barrels washing, bottling and purges from the cooling process [1-4]. The large volumes of water consumed (and wastewater produced) throughout the winemaking operations indicate that water recycling is a priority. Consequently, the measures employed to minimize the environmental impacts of the winery industry, through technologies adapted to environmental constraints, with the aim of reduce both water consumption and waste and recover by-products are crucial as specified in ISO 14000 [5]. Also, the application of best available techniques (BAT) and best environmental practices (BEPS), fostered by the IPPC

(Integrated Pollution Prevention and Control) Directive 2008/1/EC, are of great relevance to ensure a high level of environmental protection as a whole and to balance costs and benefits to operators and environment [6-7]. The winery industry generates wastewater with different biodegradation levels, mainly dependent on the winemaking technology [8]. A proper diagnosis of the winemaking process should be conducted to attain consolidated monitoring data to understand flows, characteristics and sources of wastewater in order to manage them properly. Therefore, information on the composition of wastewater and their biodegradability are key factors in establishing the most effective treatment plant, thus avoiding the risks associated with poor adaptation of the system to the wastewater to be treated. The most widely used process for tartaric stabilization of wine is the cold treatment, but recently electrodialysis is becoming increasingly adopted, due to its direct benefit on reduction of energy and water consumption and avoiding the use of additives in wine [9].

So far, few studies on the winery wastewater resulting from the electrodialysis process were performed, and the existing ones are restricted mainly to the physicochemical characterization of the flows [9] or comparing energy and water consumption's costs with other stabilizations processes [10-11].

The main goal of this study is to understand the biodegradability of the wastewater from the electrodialysis process by respirometric methods, at lab and pilot scale, to predict its behavior in a winery wastewater treatment system. For this purpose, the organic matter degradation kinetics of this wastewater flow, during aerobic treatment, is evaluated and compared to other wastewater generated during the different phases of the winemaking process

## II. MATERIALS AND METHODS

## A. Sampling

The wastewater used as a case study was collected in Portuguese wineries, during the electro dialysis stabilization of wine (EW-H; EW-I; EW-J) and compared with vintage (VW-A; VW-B), first racking (R1W-C; R1W-D; R1W-E) and second racking (R2W-F, R2W-G) periods. Composite samples were collected, transported to the laboratory, distributed into plastic containers of several volumes and preserved at 4°C, for further characterization and feeding of the bioreactors.

## B. Wastewater Characterization

The characterization of this wastewater was carried out according to Standard Methods [12]: pH, electric conductivity (EC), turbidity (NTU), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total solids (TS), total suspended solids (TSS), Kjeldahl nitrogen (Nkj), ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), sulphates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) and potassium ( $\text{K}^+$ ) (Table 1).

TABLE I. CHARACTERIZATION OF WINERY WASTEWATER DURING THE ELECTRODIALYSIS STABILIZATION OF WINE

Parameter	EW
pH	$3.6 \pm 0.1$
EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	$3900 \pm 2840$
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$5323 \pm 2523$
BOD <sub>5</sub> ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$5373 \pm 1303$
TS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$1019 \pm 4475$
TSS ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$27 \pm 4$
$\text{NH}_4^+$ ( $\text{mg N L}^{-1}$ )	$0 \pm 0$
Nkj ( $\text{mg N L}^{-1}$ )	$15 \pm 8$
$\text{K}^+$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$1483 \pm 670$
Turbidity (NTU)	$0 \pm 0$
$\text{SO}_4^{2-}$	$109 \pm 226$

## C. Respirometric Assays at a Lab Scale

Wastewater biodegradation was monitored by respirometric methods. Assays were carried out in triplicate, during 28 days, in closed bottles under constant stirring, aeration and temperature ( $20.0 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ), using the OxiTop® Control 6 system, a manometric measurement device, supplied by the Wissenschaftlich-Technische Werkst (WTW), Weilheim, Germany. The wastewater was diluted in dilution water (3:10) prepared according to Standard Methods [12] and was inoculated with 1.0 mL of acclimatized biomass collected from an air micro-bubble bioreactor used for winery wastewater treatment. For each assay two control bottles were used. Nitrification was inhibited by adding 0.05 mL solution ( $5 \text{ g L}^{-1}$  N allylthiourea; WTW Chemical Solution N° NTH 600) per 50 mL of each sample.

## D. Batch Assays at Pilot Scale

The batch assays were carried out in an air micro-bubble bioreactor (AMBB) with a total volume of  $15 \text{ dm}^3$  of winery effluent. This reactor consists of a cylindrical bioreactor, equipped with a recirculation pump, a high efficiency Venturi injector coupled with a mass transfer multiplier nozzles, developed by AirJection®, as previous described in Oliveira et al. (2009). The mass transfer multiplier discharges the air / water mixture through the Venturi injector into the bottom of the bioreactor. The aeration time rate (ATR) was 20 minutes per hour. These conditions were established after the validation of the oxygen concentration. The diagram of the AMBB is shown in Figure 1.

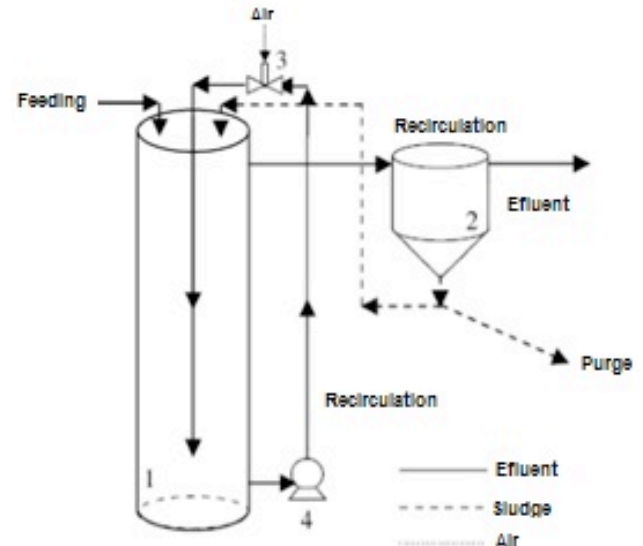


Figure 1: Operating diagram of the aerobic microbubble bioreactor (adapted from Oliveira et al., 2009).

## E. Kinetics

## 1) Respirometric assays at a lab scale

The rate of BOD oxidation was modeled based on the assumption that the decomposition of organic material is proportional to the amount present, i.e. according to a first order kinetics equation:

$$\text{BOD}_t = L_0 (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

where  $\text{BOD}_t$  is the biochemical oxygen demand exerted at time  $t$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $L_0$  is the ultimate biochemical oxygen demand ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $k$  is the first-order rate constant ( $\text{d}^{-1}$ ),  $t$  is the time (d).

To evaluate the BOD kinetic parameters ( $k$  and  $L_0$ ) the Thomas' method [13], based on the similarity between two series function, was applied as follows:

$$\left(\frac{t}{y}\right)^3 = (kL)^{-1} + \frac{k^2}{6L^3} t \quad (2)$$

The half-life ( $t_{1/2}$ ), i.e. the time required to reduce the concentration of a chemical to 50 percent of its initial concentration, was defined as

$$t_{1/2} = \ln 2/k \quad (3)$$

## 2) Batch assays at pilot scale

In a batch reactor the rate of substrate consumption is proportional to time; the first order model was given by equation (4)

$$\frac{dC}{dt} = kC \quad (4)$$

On integration considering  $C=C_0$  at  $t=0$  the model can be written as equation 6

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -kt \quad (5)$$

where  $C_0$  is the initial substrate concentration (mg COD L<sup>-1</sup>),  $C$  is the substrate concentration (mg COD L<sup>-1</sup>),  $t$  is the biodegradation time (day) and  $k$  is the first order rate constant (day<sup>-1</sup>).

## F. Statistical Analysis

Kinetic parameters data and BOD<sub>5</sub>/COD were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA) and means compared using the Tukey's test at a 5% significance level, using the statistical software Statistica for Windows (Statistica 6.0 for Windows 98). The experimental data were submitted to analysis of variance (ANOVA) to evaluate the effects of sample collection and winemaking period on the kinetic parameters of winery wastewater biodegradability.

# III. RESULTS AND DISCUSSION

## A. Physicochemical Characterization

The vintage, racking and tartaric stabilization are used to evaluate the physicochemical characteristics of the wastewater produced throughout the winemaking process (Table 2). The obtained values are similar to those referred in the literature [1, 14-15]. The electrodialysis wastewater (EW) showed acidic characteristics and higher conductivity compared to wastewater produced throughout other operation periods. This behavior is related to the electrodialysis process that uses a concentrate flow, whose pH should be similar to the wine, to ensure optimal conditions for extracting tartaric acid [9]. This is accomplished by adding H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> or HNO<sub>3</sub> until a pH of 2.8 - 3.2 is reached.

The total suspended solids (TSS) resulted from electrodialysis are very low, as well as turbidity, contrasting with values from other winemaking periods.

The COD concentration was used to evaluate organic matter, and presents similar values to those reported by Boris et al. (2011) [9] and are close to those found for vintage and racking periods [15]. The EW flow is mainly composed by ethanol and tartaric acid whose contribution to the COD ranges between

70-80% and 6-8%, respectively. Although these percentages are higher than those described by [9], the concentrations are similar. The differences can be explained by the lower concentration of malic acid and lactic acid in the wastewaters under study (data not shown).

TABLE II. PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WINERY WASTEWATER, DURING DIFFERENT WINEMAKING PERIODS: VINTAGE (VW), FIRST RACKING (R<sub>1</sub>W), SECOND RACKING (R<sub>2</sub>W) AND ELECTRODIALYSIS PROCESS (EW)

Parameter	VW <sup>a</sup>	R <sub>1</sub> W <sup>b</sup>	R <sub>2</sub> W <sup>a</sup>	EW <sup>b</sup>
pH	6.2 ± 0.9	5.7 ± 1.7	4.7 ± 2.0	3.6 ± 0.1
EC (μS cm <sup>-1</sup> )	1764 ± 340	1826 ± 518	2227 ± 745	3900 ± 2840
COD (mg L <sup>-1</sup> )	4127 ± 1511	7823 ± 3512	39008 ± 15034	5323 ± 2523
BOD <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	3155 ± 1139	4392 ± 931	8632 ± 4703	5373 ± 1303
TS (mg L <sup>-1</sup> )	2570 ± 569	3034 ± 248	8409 ± 5644	1019 ± 4475
TSS (mg L <sup>-1</sup> )	636 ± 123	866 ± 199	4093 ± 2800	27 ± 4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg N L <sup>-1</sup> )	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	not done
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg N L <sup>-1</sup> )	1.2 ± 1.0	4.5 ± 2.6	0 ± 0	0 ± 0
Nkj (mg N L <sup>-1</sup> )	12 ± 4	26 ± 19	109 ± 74	15 ± 8
P (mg P L <sup>-1</sup> )	10 ± 3	27 ± 22	62 ± 60	not done
K <sup>+</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	115 ± 10	71 ± 72	247 ± 18	1483 ± 670
Turbidity (NTU)	88 ± 18	635 ± 214	5405 ± 4094	0 ± 0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	228 ± 19	160 ± 129	265 ± 120	109 ± 226

<sup>a</sup> Average values ± standard deviation (n=4; two sampling periods, two replicates).

<sup>b</sup> Average values ± standard deviation (n=6; three sampling periods, two replicates).

## B. Respirometric Assays

The winery wastewater showed a variability of the pollutant load throughout the different winemaking periods, therefore indicating that each flow was not degraded at a uniform rate.

For the purpose of predicting the aerobic treatment of electrodialysis (EW), the biodegradability has to be checked and compared to other working periods, based on BOD<sub>5</sub>/COD and the rate of BOD oxidation. Towards BOD<sub>5</sub>/COD ratio, the results presented notable effect of the working period on the wastewater biodegradability (P≤0.05). The average values of BOD<sub>5</sub>/COD ratio for VW were significantly higher for this effluent than for others generated by the first (R<sub>1</sub>W) and second racking (R<sub>2</sub>W) or EW, as soon reaching a higher rate of biodegradability of VW (Figure 3). Despite not different from R<sub>1</sub>W, the lowest average values of BOD<sub>5</sub>/COD ratio were found for R<sub>2</sub>W. The biodegradability rate of EW was suchlike the obtained for R<sub>1</sub>W.

Some previous evaluation of the wastewater biodegradability during vintage has similar results, but they did not consider the electrodialysis process. Fernández et al. (2007) [16] observed that the wastewater generated in the vintage period achieve the higher biodegradability, revealing a maximum BOD<sub>5</sub>/COD ratio of 0.93. For post-vintage periods (rackings), the biodegradability of each wastewater is generally the same [16-17] which is in accordance with our results.

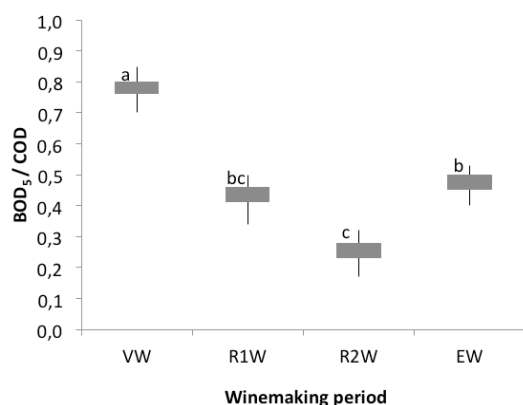


Figure 2: Winery wastewater biodegradability assessed during different winemaking periods, vintage (VW), first racking (R1W), second racking (R2W) and electro dialysis process (EW). Bars represent maximum and minimum values. Values marked with the same letter are not statistically different ( $P \leq 0.05$ ), according to Tukey's test.

Concerning the respirometric assays, the ultimate BOD, i.e. the amount of oxygen required to oxidize the organic matter, is presented in the oxygen demand curves that show a distinctive initial period of rapid oxygen uptake, followed by a plateau, an extended period of slower oxygen uptake activity (Figure 4). All over the sampling period it was noticed this behavior of BOD oxidation and it adjusted for a first-order kinetic reaction (Equation 1).

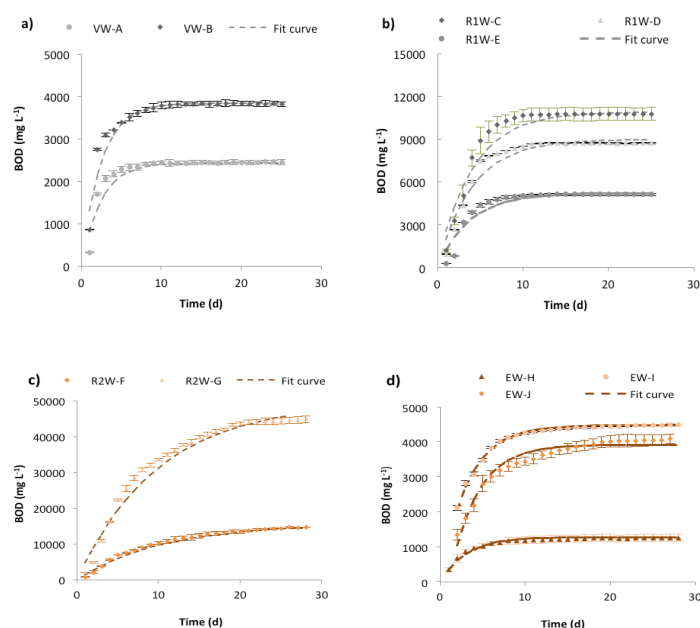


Figure 3: Evolution of experimental and predicted BOD data determined by Thomas' method during: a) vintage period, VW-A, VW-B; b) first racking period, R1W-C, R1W-D, R1W-E; c) second racking period, R2W-F, R2W-G; d) electro dialysis process, EW-H, EW-I, EW-J. Bars represent standard deviation.

For all sampling periods, a graphic representation of experimental data was made according to linearized form of first-order model, Equation (2). The first-order degradation

constant values ( $k$ ), Equation (3), were obtained from the slopes of the straight lines and are shown in Table 2, along with the coefficient of determination values ( $r^2$ ). The coefficient values ( $r^2$ ) were always higher than 0.982 (Table 3), thus revealing the suitability of this model to the experimental data. Within the same working period (VW, RW or EW), different curves were obtained for each sample; however, the  $k$  values were similar for each period, therefore indicating a comparable wastewater biodegradation rate.

TABLE III. KINETIC PARAMETERS OF WINERY WASTEWATER BIODEGRADATION, DURING TYPICAL WINEMAKING PERIODS

Winemaking period	Sample Code	$k$ ( $d^{-1}$ )	$L_0$ ( $mg\ L^{-1}$ )	$r^2$	$BOD_{28}$ ( $mg\ L^{-1}$ )
Vintage	VW -A	$0.411 \pm 0.004$	$2433 \pm 25$	0.989	2448
	VW -B	$0.411 \pm 0.009$	$3827 \pm 83$	0.982	3820
1st Racking	R <sub>1</sub> W -C	$0.244 \pm 0.020$	$10916 \pm 530$	0.994	10780
	R <sub>1</sub> W -D	$0.242 \pm 0.002$	$8964 \pm 147$	0.995	8745
	R <sub>1</sub> W -E	$0.263 \pm 0.002$	$5217 \pm 90$	0.998	5140
2nd Racking	R <sub>2</sub> W -F	$0.097 \pm 0.002$	$15623 \pm 947$	0.994	14779
	R <sub>2</sub> W -G	$0.100 \pm 0.004$	$49636 \pm 1322$	0.988	44894
Electrodialysis	EW -H	$0.319 \pm 0.011$	$1285 \pm 147$	0.992	1263
	EW -I	$0.310 \pm 0.004$	$4515 \pm 43$	0.997	4502
	EW -J	$0.308 \pm 0.005$	$3954 \pm 147$	0.991	4118

Although differences related to the ultimate BOD ( $L_0$ ) have been recorded for all periods, no significant effect was found among samples with respect to the biodegradability rate constant ( $P \leq 0.05$ ). Nevertheless, the working period significantly affected the kinetic parameters.

Concerning traditional working periods, the kinetic parameters showed the highest biodegradability rate constant during vintage, which also support the obtained results through the  $BOD_5/COD$  ratios. These results are in agreement with those obtained by other authors [1, 17], who considered that substrates present in the vintage wastewater are easily metabolized by microorganisms, due to the high concentration of simple molecules (sugars and ethanol).

Electrodialysis process, used for the tartaric stabilization of wines, meets BAT criteria and contributes to reduce environmental impacts of the winery sector. When compared to cold stabilization, electro dialysis, especially when combined with brine treatment by reverse osmosis, generates a significant decrease in consumption of water and energy and waste reduction [9]. Although these issues have not been addressed in the present study, overall, the results of physicochemical characteristics of the EW and respirometric assays indicated



that this wastewater may be treated with other winery flows. As some physicochemical parameters of EW were higher than values registered for other winery wastewater, further studies should be conducted at bench/pilot scale to improve the EW treatability at full scale, mainly to reduce the EW conductivity.

### C. Batch Assays at Pilot Scale

The winery wastewater samples were daily taken from the pilot AMBB, during the studying period, and characterized. To evaluate the kinetic of winery wastewater biodegradation the COD was followed (Table 4).

TABLE IV. AVERAGE CONCENTRATION OF THE CENTRIFUGED EW

Time	Centrifuged Average	C/C0	Ln(C/C0)
0	4502	1.000	0.000
1	4717	1.048	0.047
2	4566	1.014	0.014
4	4117	0.800	-0.223
7	2179	0.484	-0.726
9	1428	0.317	-1.148
11	1352	0.300	-1.203
14	805	0.179	-1.721
17	400	0.089	-2.421
31	370	0.082	-2.499

The study of biodegradation was performed using the first order model as given by Equation 5 and Equation 6. The equation that describes the biodegradation kinetics is the following:

$$\ln(C/C_0) = -0.157 \times \text{COD} + 0.061 \quad (7)$$

For a first order reaction, the plot of the logarithm of  $[C/C_0]$  versus time is a straight line with  $k = -\text{slope of the line}$  with a correlation coefficient of 0.985. The ability of the first order model for describing the kinetics of the present wastewater (Figure 4) is established by the adjusted equation with a correlation coefficient of 0.993. The first order constant  $k$  obtained was  $0.157 \text{ d}^{-1}$ , which was similar to those reported by other authors [19, 20] for domestic or phenolic wastewater.

The efficiency of the batch treatment was approximate 90% after 15 days of operation. The efficiency of the treatment reached almost 99% in 30 days of treatment. Even if this period is greater than the reported by other authors, the efficiency was also satisfactory. Oliveira et al. (2009) [15] observed similar efficiency rate after a treatment period of 6, while the maximum efficiency was reached after 15 days of treatment. This revealed that the response and acclimatization phase of the biomass was slower for this kind of treatment, but a good biodegradation rate was obtained for the wastewater from electro dialysis process.

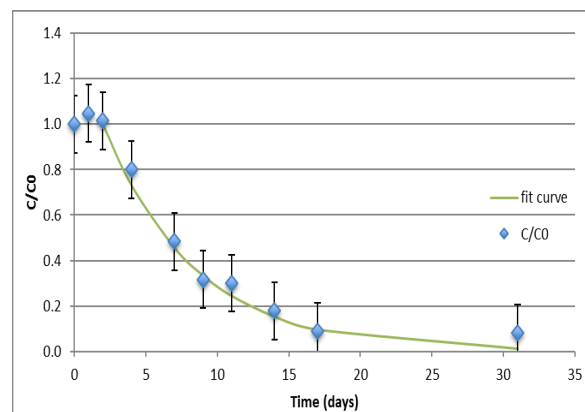


Figure 4: Rate  $C/C_0$  versus time (days). Bars represent standard deviation.

A few studies have been reported for this wastewater but the results accomplished by the AMBB indicate the effectiveness of treatment for electro dialysis' wastewater.

### III. CONCLUSIONS

This study provides comprehensive information on the composition of raw winery wastewater generated in a winery throughout different winemaking periods, vintage, first and second racking's and tartaric stabilization of wine by electro dialysis, and details on biodegradability of each wastewater flow.

The organic load of wastewater generated throughout different winemaking periods was analogous among periods. The biodegradability of vintage wastewater, assessed by the  $BOD_5/COD$  ratio (0.76), was significantly higher than the ones produced during the remaining periods. Although the biodegradability of electro dialysis wastewater ranked second ( $BOD_5/COD$  ratio 0.45), it was not significantly different from that of the first racking ( $BOD_5/COD$  ratio 0.40). The kinetic behavior of winery wastewater revealed that biodegradation follows a first order kinetics. Also, it was demonstrated that the working period significantly affects the kinetic parameters. Average half-life for the aerobic biodegradation of winery wastewater ranged from 1.7 to 7.0 d, being the half-life of electro dialysis wastewater 2.8 d. The kinetic study conducted in the ABMM revealed a  $k$  of  $0.157 \text{ d}^{-1}$ , using an aeration time rate of  $20 \text{ min h}^{-1}$ .

The data presented here could provide information on the design of wastewater treatment, as well as the likely composition, organic load and biodegradability of each type of wastewater, throughout the different winemaking periods.

### ACKNOWLEDGMENT

Juliana Farias was sponsored with a scholarship of ERASMUS. The authors wish to thank Fundação para a Ciência e Tecnologia through the research unit UID/AGR/04129/2013 (LEAF) for the financial support.

# REFERENCES

- [1] E. Duarte, I. B. Reis and M. O. Martins (2004). Implementation of an environmental management plan towards the global quality concept – A challenge to the winery sector. In: *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Specialized Conference on Sustainable Viticulture and Winery Wastes Management*, Barcelona, Spain, 23–30.
- [2] A. Eusébio, M. Mateus, L. Baeta-Hall, E. Almeida-Vara and J. C. Duarte (2005). Microflora evaluation of two agro-industrial effluents treated by the JACTO jet-loop type reactor system. *Water Science and Technology* 51, 107-112.
- [3] A. Pirra, L. Arroja and M. Capela (2005). Estudos de tratabilidade aeróbia de efluentes vinícolas (EVs) na Região Demarcada do Douro (RDD). *Revista de Ciências Agrárias* 28, 255- 264.
- [4] M. Oliveira and E. A. Duarte (2015). Winery wastewater treatment – Evaluation of the air micro-bubble bioreactor performance. In: *Toward a Sustainable Wine Industry: Green Enology Research*. Apple Academic Press. p. 79-113.
- [5] I. Boudouropoulos and I.S. Arvanitoyannis (2000). Potential and perspectives for application of environmental management system (EMS) and ISO 14000 to food industries. *Food Reviews International* 16, 177–237.
- [6] G. Andreottola, P. Foladori and G. Ziglio (2009). Biological treatment of winery wastewater: an overview. *Water Science and Technology* 60, 1117–1125.
- [7] G. Lofrano, V. Belgiorno and A. Mascolo (2009). Winery wastewater treatment options: drawbacks and advantages. In: *Proceedings of the 5th International Specialized Conference on Sustainable Viticulture: Winery Wastes and Ecological Impacts Management*, Trento and Verona, Italy, 27–34.
- [8] M. Oliveira and E. Duarte (2011). Winery Wastewater Treatment – Evaluation of the air micro-bubble bioreactor performance. *Mass Transfer - Advanced Aspects*. InTech book, 385–412.
- [9] A. Bories, Y. Sire, D. Bouissou, S. Goulesque, M. Moutounet, D. Bonneaud and F. Lutin (2011). Environmental impacts of tartaric stabilization processes for wines using electrodialysis and cold treatment. *South African Journal of Enology and Viticulture* 32, 174–182.
- [10] Agrovin. (2012). Wine tartaric stabilization system. [http://www.brenn-o-kem.co.za/wpcontent/uploads/2012/11/01-Wine-tartaric-stabilization-FreeK+7System\\_EN2smallpdf.com-1.pdf](http://www.brenn-o-kem.co.za/wpcontent/uploads/2012/11/01-Wine-tartaric-stabilization-FreeK+7System_EN2smallpdf.com-1.pdf). Accessed 2017 April 1.
- [11] M. Chen (2016). An electrolytic method for tartrate stabilization in chardonnay wine. Master of Science in Agriculture, Faculty of California Polytechnic State University, USA.
- [12] APHA, AWWA, WEF. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater, 20th ed. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington DC, USA.)
- [13] H.A. Thomas (1950). Graphical determination of BOD curve constants. *Water and Sewage Works* 97, 123.
- [14] M. Petruccioli, J.C. Duarte, A. Eusébio and F. Federici (2002). Aerobic treatment of winery wastewater using a jet-loop activated sludge reactor. *Process Biochemistry* 37, 821-829.
- [15] M. Oliveira, C. Queda and E. Duarte (2009). Aerobic Treatment of winery wastewater with the aim of water reuse. *Water Science and Technology* 60, 1217-1223.
- [16] B. Fernández, I. Seijo, G. Ruiz-Filippi, E. Roca, L. Tarenzi and J.M. Lema (2007). Characterization, management and treatment of wastewater from wine production. *Water Science and Technology* 56, 121-128.
- [17] P. Artiga, M. Carballa, J.M. Garrido and R. Méndez (2007). Treatment of winery wastewaters in a membrane submerged bioreactor. *Water Science and Technology* 56, 63–69
- [18] D. Bolzonella and D. Rosso (2009). Winery wastewater characterization and biological treatment options. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Specialised Conference on Sustainable Viticulture and Winery Wastes Management*, Trento-Verona, Italy, 19–26.
- [19] Metcalf and Eddy, Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, 4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, New York, 1819p.
- [20] G. Durai, M. Rajasimman and N. Rajamohan (2011). Aerobic digestion of tannery wastewater in a sequential batch reactor by salt-tolerant bacterial strains. *Applied Water Science*, 2011, Volume 1, Number 1-2, Page 35

# Otimização no tratamento de água utilizando Goma Xantana como auxiliar de floculação

Laís Gimenes Vernasqui  
Escola Superior Agrária  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
Laisvernasqui@gmail.com

Flávia Vieira, Heloíse Quesada, Renata Mariane de  
Souza, Guilherme Gobbi Teixeira, Wédisley V.  
Maroldi  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Brasil

**Resumo**— Polímeros naturais podem ser utilizados no tratamento de águas para abastecimento com a finalidade de reduzir a quantidade de coagulante químico utilizada. Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo o estudo estatístico de variáveis envolvidas no tratamento de água com o floculante natural goma xantana a fim de avaliar suas influências na cor e na turbidez. Após as análises, foi observado que quando foi aplicada a solução menos concentrada de GX preparada em temperatura ambiente, esta possibilitou a redução da aplicação do coagulante químico utilizado de 10 para 2 mg/L sem comprometer o tratamento. Dessa forma, a goma xantana pode ser considerada como alternativa para redução do coagulante químico no tratamento de águas para abastecimento.

**Palavras – Chave:** Coagulação, Floculação, Goma Xantana.

## I. INTRODUÇÃO

Dentre os métodos conhecidos para o tratamento de água, as etapas de coagulação/floculação (CF) são as mais empregadas, principalmente devido ao baixo custo de operação, sendo estas etapas suficientes para remoção eficaz de coloides, partículas suspensas e dissolvidas [1].

A viabilidade do processo de CF depende, principalmente, da eficiência do coagulante utilizado (CQ), que usualmente são os sais de alumínio. Contudo, a alta sensibilidade que os coagulantes inorgânicos apresentam, somada à possibilidade de contaminação da água com residuais tóxicos oriundos de sua fabricação, o grande volume de lodo não biodegradável formado a partir desse tratamento, e a relação de íons de alumínio com o mal de Alzheimer, são algumas desvantagens apontadas no processo de CF [2, 3, 4].

Nesse contexto, de forma a reduzir os problemas relacionados à aplicação de coagulantes nas etapas de CF, polímeros naturais podem ser utilizados, pois além de diminuírem a dosagem do coagulante químico, consequentemente diminuindo a quantidade de alumínio residual da água tratada, geram um menor volume de lodo e formam flocos maiores e mais densos [5].

Um dos polímeros que vêm sendo estudado como auxiliar de floculação empregado nas etapas de CF, é a goma guar, polissacarídeo natural muito utilizado na indústria de alimentos

e quem têm apresentado bons valores de remoção de turbidez [6, 7].

Assim como a goma guar, a goma xantana (GX) é um polissacarídeo natural utilizado na indústria de alimentos. Apesar de sua eficiência no tratamento de águas ser ainda pouco estudada, sua utilização em conjunto do CQ Policloreto de Alumínio, tem demonstrado uma redução nos valores de cor e turbidez [8].

Dessa forma, visando acrescentar aos estudos de avaliação da utilização da GX como auxiliar de floculação, esse estudo teve como objetivo a análise multivariada das variáveis concentração de CQ, concentração de GX e temperatura (T) a fim de avaliar suas influências nos parâmetros cor e turbidez e determinar condições ótimas de tais variáveis que permitam um bom tratamento e a redução da utilização CQ.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Planejamento fatorial

O planejamento experimental foi utilizado para relacionar as variáveis concentração de CQ, concentração de GX e T, individualmente e também em conjunto, na redução dos parâmetros cor e turbidez,

Para isso, foram estabelecidos dois níveis para cada variável (Fig. 1), e um planejamento fatorial  $2^3$  foi definido conforme a Fig. 2.

Variável	Nível	
	Inferior (-)	Superior (+)
Concentração CQ (mg/L)	2	10
Concentração GX (mg/L)	0,1	0,9
Temperatura (°C)	25	65

Fig. 1. Níveis inferiores e superiores utilizados para cada variável.

Ensaio	Conc. de CQ (mg/L)	Conc. de GX (mg/L)	Temperatura da solução GX (°C)
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Fig. 2. Planejamento fatorial utilizado nos ensaios de CF.

### B. Ensaios de coagulação e floculação

Todos os ensaios de CF foram realizados em equipamento *Jar Test*, de acordo o planejamento fatorial definido e em duplicata.

Antes do início dos ensaios, 5 ppm de solução de Hidróxido de Cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) foram adicionados em cada jarro para fornecer alcalinidade à água bruta. Em seguida, o equipamento foi ligado com velocidade de 120 rpm para proporcionar a mistura do alcalinizante.

As soluções do alcalinizante e o do CQ foram preparadas de modo que 1 mL da solução representasse 1 ppm, a partir da dissolução de solução concentrada em água destilada a 25°C. Já as soluções de GX foram preparadas de forma que 1 mL representasse 0,1 ppm, a partir da dissolução do produto em pó em água destilada em duas diferentes temperaturas: 25°C (GXF) e 65°C (GXQ).

Para realização dos ensaios, foram utilizadas as seguintes condições: mistura rápida de 1 minuto a 120 rpm; mistura lenta de 15 minutos a 60 rpm; e sedimentação de 15 minutos.

Ao término da sedimentação, amostras de cada tratamento realizado foram coletadas, e foi feita a leitura dos parâmetros cor e turbidez.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios de cor e turbidez obtidos a partir da realização de cada um dos oito ensaios em duplicata podem ser observados na Fig 3.

Ensaio	Média Cor (uC)	Média turbidez (uT)
1	13.5	7.16
2	1.3	1.875
3	10.4	3.815
4	0.35	1.11
5	40	6.18
6	25	0.26
7	45	2.77
8	15	0.37

Fig. 3. Resultados de cor e tubidez dos ensaios de CF.

Utilizando os resultados expostos na Fig. 3, aplicou-se o teste dos Mínimos Quadrados Parciais separadamente para os parâmetros cor e turbidez.

A Fig. 4 representa o resultado desse teste para a variável cor, onde as variáveis ou combinações de variáveis marcadas em verde explicitam a importância destas para o tratamento.

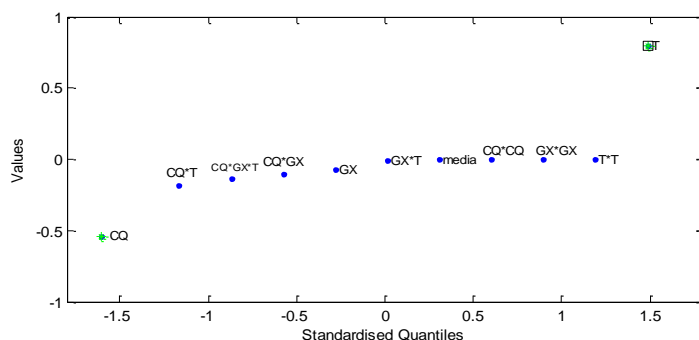


Fig. 4. Resultados do teste estatístico para a variável cor

Nota-se a partir da Fig. 4 que os parâmetros cujas alterações de níveis modificam o tratamento são o CQ e a temperatura da solução de GX (T). O fato da alteração no nível do coagulante ser importante para o processo do tratamento já era um fato esperado, uma vez que a CF é um processo que só acontece a partir da adição de um coagulante que permite que as partículas coloidais se desestabilizem e cujo tratamento varia também com a quantidade desse coagulante adicionado no processo [9].

Apesar do fato da alteração no nível da GX aplicada durante os ensaios não provocar efeitos na cor, não se pode excluir sua importância do tratamento, uma vez que a T, variável ligada ao tratamento com a GX mostrou influência.

Assim, sabendo que a variação da concentração de GX não possui influência sobre a cor, fixou-se essa variável no nível -1, e a superfície de resposta que demonstra a influência do CQ e T na cor foi construída (Fig. 5).

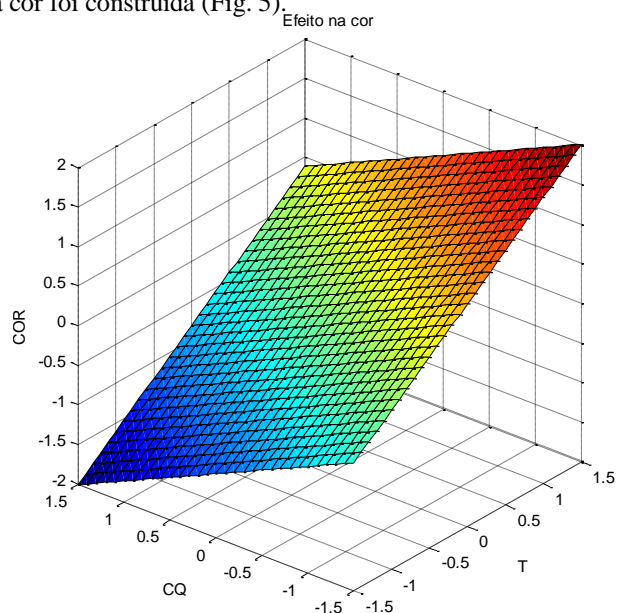


Fig. 5. Superfície de resposta da cor com a variação do CQ e temperatura e com a GX fixa em seu nível inferior.

Observa-se que o tratamento com GX resulta em menores valores para cor quando utiliza-se GXF e CQ em seu nível superior. Todavia, se essas duas variáveis forem olhadas em conjunto, é possível entender a importância que a GX teve no tratamento, uma vez que utilizando uma concentração fixa do coagulante, a cor remanescente do tratamento pode ser diferente dependendo da temperatura que a solução do floculante for preparada.

Após a análise do parâmetro resposta cor, realizou-se o mesmo procedimento para a variável resposta turbidez, conforme demonstrado na Fig. 6.

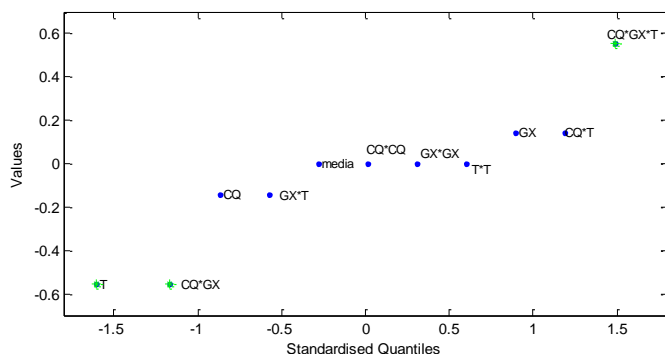


Fig. 6. Resultados do teste estatístico para a variável turbidez.

De acordo com a Fig. 6 as variáveis que se mostraram significantes para a turbidez foram a temperatura da solução de GX (T), a interação entre o CQ e a concentração de GX e a interação entre o CQ, T e concentração de GX.

Dessa forma, com a finalidade de entender como a concentração de GX em conjunto com as outras variáveis influenciou nos resultados de turbidez, foram construídas superfícies de resposta com a GX fixa em três situações diferentes: em seu nível inferior (Fig. 7), em um nível intermediário (Fig. 8), e em seu nível superior (Fig. 9).

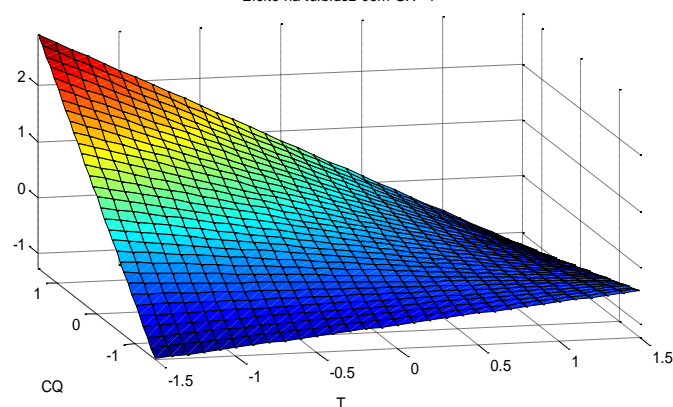


Fig. 7. Superfície de resposta da T e CQ para a turbidez com a GX fixa em nível inferior.

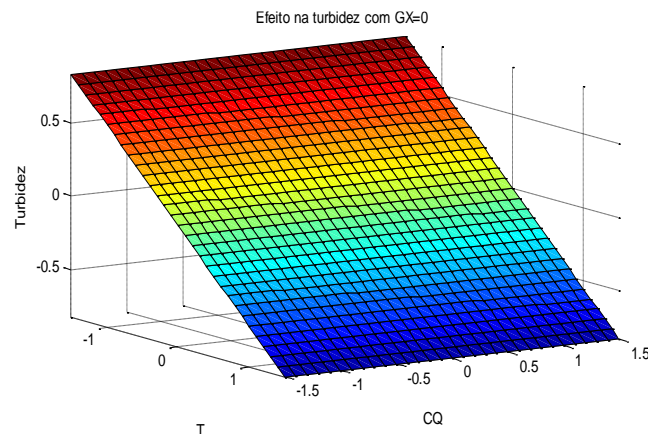


Fig. 8. Superfície de resposta da T e CQ para a turbidez com a GX fixa em um nível intermediário.

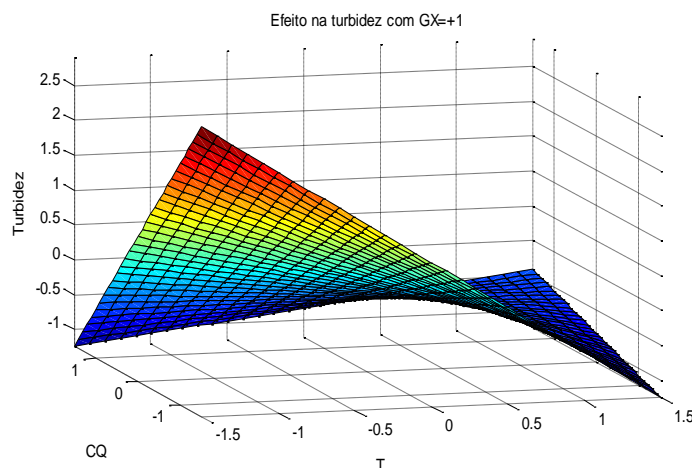


Fig. 9. Superfície de resposta da T e CQ para a turbidez com a GX fixa em seu nível superior.

A partir das diferentes superfícies de respostas obtidas para a turbidez, pode-se observar que com os níveis inferior e intermediário fixados para concentração de GX (Fig. 7 e Fig. 8), é possível obter valores mais baixos de turbidez com a utilização de menor quantidade de CQ, ressaltando a contribuição significativa do auxiliar de floculação para esse parâmetro.

Ainda, além da possibilidade de utilizar a menor concentração de GX, considera-se também como ponto positivo que os melhores resultados de turbidez possam ser atingidos com a solução de GX preparada a 25°C (Fig. 7), pois, além da análise da superfície de resposta da variável cor mostrar que os melhores resultados também foram obtidos com essa T, há o fato dessa solução poupar tempo e custos na aplicação dessa metodologia.

Embora os resultados de cor não sejam os menores possíveis quando aplicado o menor nível de CQ em conjunto com a GX em menor concentração e preparada a 25°C (Fig. 5), se estes estiverem dentro das normativas para este parâmetro, esses valores podem ser aceitos, uma vez que a redução da

concentração do CQ utilizado é muito grande. Essa redução, além de significar economia do ponto de vista do tratamento em grande escala, também representa menores impactos ambientais e na saúde da população.

#### CONCLUSÃO

A partir do estudo estatístico feito e dos resultados de cor e turbidez obtidos com os tratamentos, foi possível analisar variáveis importantes no processo de tratamento de água, tanto individualmente, quanto em conjunto.

Apesar dos diferentes níveis de tratamento de GX não terem implicado em uma importância para o parâmetro cor, ficou clara sua importância uma vez que a T de sua solução se mostrou importante, e capaz de reduzir os valores quando aplicada em menor nível.

Já para a turbidez, a GX se mostrou significativa em conjunto com o CQ e T, e sua aplicação em temperatura ambiente no nível inferior, proporcionou a possibilidade de obter os melhores resultados com a utilização de menores concentrações do CQ.

Dessa maneira, esse trabalho demonstrou que a GX é um polímero natural que apresenta viabilidade no tratamento de águas para abastecimento e que sua aplicação mesmo em menor concentração utilizada (0,1 g/L), permitiu a redução do PAC de 10 para 2 ppm, conseqüentemente, trazendo benefícios ambientais e à saúde.

#### ACKNOWLEDGMENT

Os autores agradem à UTFPR pelo apoio financeiro que foi essencial para o desenvolvimento desse trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] N. A. Oladoja, "Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations," *J. Wat. Proc. Eng.*, vol. 6, pp. 174-192, June 2015.
- [2] K. Anastakis, D. Kaderis, and E. Diamadopoulos, "Flocculation behavior of mallow and okra mucilage in treating wastewater," *Desalination*, vol. 249, pp. 786-791, December 2009.
- [3] S. Bratskaya, S. Schwarz, and D. Chernovotsky, "Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride and chitosan glutamate," *Water Res.*, vol. 38, pp. 2955-2961, July 2004.
- [4] D. A. Aremu, and S. Meshitsuka, "Some aspects of astroglial functions and aluminum implications for neurodegeneration," *Brain Res. Rev.*, vol. 52, pp. 193-200, August 2006.
- [5] B. Bolto, and J. Gregory, "Organic polyelectrolytes in water treatment," *Water Res.*, vol. 41, pp. 2301-2324, June 2007.
- [6] T. Nasim, A. B. Panda, and A. Bandyopadhyay, "Guar gum and guar gum-oligomeric poly (vinyl alcohol) blends as novel flocculants for kaolinated waste water," *Int. j. Biol. Macromol.*, vol. 58, pp. 140-147, April, 2013.
- [7] B. S. Gupta, and J. Ako, "Application of guar gum as a flocculant aid in food processing and potable water treatment," *Eur. Food Res. Tech.*, vol. 221, pp. 746-751, August, 2005.
- [8] F. V. Silva- Medeiros, L. G. Vernasqui and P. Valderrama, "Xanthan gum as a novel flocculant aid employed in drinking water treatment," *Braz. J. Food Res.*, vol. 7, pp. 52-65, Setember/Dezember 2016.
- [9] C. A. Richter, *Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento*. São Paulo: Editora Blucher, 2009.



# Avaliação da Eficiência de Retenção de Solos de Cobertura de Aterros Controlados por meio de Contaminação de Nanopartículas por CuO

Elizabeth Mendes de Oliveira<sup>1</sup> CEFET/RJ  
Departamento de Engenharia Metalúrgica  
Centro Federal de Educação Tecnológica, Angra dos Reis.  
Rio de Janeiro, Brasil.  
[elizabeth.oliveira@cefet-rj.br](mailto:elizabeth.oliveira@cefet-rj.br)

Jose Adilson de Castro<sup>3</sup> UFF/Volta Redonda  
Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica  
Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda. Rio de Janeiro, Brasil.  
[joseadilsoncastro@id.uff.br](mailto:joseadilsoncastro@id.uff.br)

Mara Carolina do Carmo Paresque<sup>2</sup> UFF/Volta Redonda  
Programa de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica  
Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda. Rio de Janeiro, Brasil.  
[paresquemara@gmail.com](mailto:paresquemara@gmail.com)

**Abstract**— Nanoparticles today represent a new and wide class of man-made contaminants and are increasingly common in natural environments, as industrial activities involving nanotechnology grow rapidly. In this way, it becomes extremely relevant to understand the transport and destination of the nanoparticulate materials that are released in the environment to identify the physical and chemical phenomena that occur from the waste disposal. The general objective of this work is to create scientific information necessary to better understand the behavior and transport of TiO<sub>2</sub> nanoparticles in aqueous suspensions through copper impregnated soils. Thus allowing the production and use of harmful nanomaterials to be better controlled, avoiding the adverse effects on human health and costly efforts for remediation. In particular, in this work titanium dioxide was chosen because it is a nanomaterial widely used in industrial scale and copper oxide in turn, being a ubiquitous soil contaminant. This makes the need to study transport through the environment, especially in soils and waters, unique. For this knowledge will be realized experimental tests of and using soil impregnated with copper in aqueous suspension of TiO<sub>2</sub>.

**Keywords**— Nanoparticles of TiO<sub>2</sub>, Nanoparticles of CuO, Columns of Soil and Nanosight.

## I. INTRODUÇÃO

Na última década, os NMs (nanomateriais) tem desempenhado um papel fundamental na indústria, com diversas aplicabilidades nas diversas áreas tecnológicas, provenientes de suas propriedades únicas; reduzido tamanho e grande área superficial, o que estimulou a sua aplicação numa ampla gama de produtos e processos. Em 2015, O PEN (Project on Emerging Nanotechnologies) divulgou que o dióxido de titânio é um dos nanomateriais mais produzidos em escala industrial, originário de suas propriedades elétricas, óticas e estruturais, que podem ser modificadas com relativa facilidade, bem como a sua alta estabilidade sobre condições adversas de temperatura,

umidade e pH [1,2,3]. Das diversas aplicações das TiO<sub>2</sub>-NPs (Nanopartículas de dióxido de titânio) destacam-se: a nanoengenharia de partículas de titânio para painéis solares e tintas; descontaminação da água de poluentes orgânicos; a aplicação de nanotubos de carbono em pneus; esterilização de utensílios hospitalares [4,5]; a aplicação de nanofibras de carbono como protetores de tecidos; desenvolvimento de implantes e de superfícies para a engenharia de tecidos biológicos [6].

No entanto deve-se observar que sua produção em larga escala gera possíveis danos ao meio ambiente e aos seres humanos, tornando dessa forma de extrema importância o conhecimento do destino e transporte desses materiais em decorrência da disposição de resíduos de diferentes origens, nas quais estão submetidos, de modo a identificar, as possíveis rotas de exposição, os fenômenos físicos e químicos que ocorrem especialmente em solos e águas durante a exposição com outros materiais nocivos, visto que os efeitos quânticos que são normalmente negligenciados na escala macro não poderão ser negligenciados em escala nano [7]. O óxido de cobre é um nanomaterial onipresente em solos, visto que é amplamente emitido pelas indústrias e este possui um efeito catalisador em diferentes sistemas [8,9].

Sob essa abordagem, essa pesquisa realizou ensaios experimentais de lixiviação em colunas de PVC (Policloreto de Vinila) com solos coletados do aterro controlado de Volta Redonda-RJ com o objetivo de simular possíveis contaminações de solo por CuO-NPs (Nanopartículas de óxido de cobre), utilizando como quantitativo de contaminação o correspondente a duas vezes o valor de intervenção para um cenário de exposição industrial [10]. Em seguida foram inoculados nas colunas de PVC, suspensões aquosas de TiO<sub>2</sub>-NPs, a fim de avaliar os diversos efeitos físicos e químicos que ocorrem dessa fusão binária entre esses dois nanomateriais, onde as

características das CuO-NPs são suportadas pela estabilidade dos semicondutores das TiO<sub>2</sub>-NPs.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

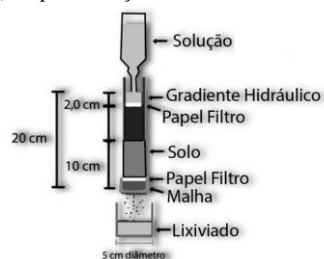
Inicialmente foram realizados ensaios de estabilidade, a fim de obter o ponto de saturação das suspensões em estudo, como descritas na Tabela 1. As suspensões foram expostas a uma agitação vigorosa de 250 rpm pelo período de 24 horas e mantidas em repouso por 10 dias. As soluções propostas foram testadas em concentrações variadas, visto que as dispersões coloidais são sistemas termodinamicamente instáveis, e dependendo da interação entre essas nanopartículas, as mesmas podem se agregar ou precipitar. Desse modo, esse ensaio tem o intuito de obter a estabilidade coloidal dessas soluções a fim de definir com precisão o estado de saturação.

TABELA I. TESTE DE ESTABILIDADE PARA DETERMINAR A SATURAÇÃO.

Quantitativo da solução	Características das TiO <sub>2</sub> -NPs
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (250 mg)	TiO <sub>2</sub> Tamanho médio da partícula: 35 nm
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (500 mg)	Área de superfície: 30 m <sup>2</sup> /g
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (750 mg)	Pureza: 99%
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (1 g)	Densidade Aparente: ~0.40 g/cm <sup>3</sup>
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (1,5 g)	Densidade Verdadeira: 3.94g/cm <sup>3</sup>
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (2 g)	Morfologia: Esférica
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (4 g)	Cor: Branca
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (6 g)	Fornecedor: Sigma-Aldrich
Água ultra pura (1 Litro) + TiO <sub>2</sub> (8 g)	

Dando continuidade aos experimentos, foram realizados ensaios de coluna. O ensaio de coluna consiste em simular as condições de fluxo no meio poroso e obter o perfil de concentração do contaminante e seus subprodutos ao longo da coluna. Para esta finalidade, utilizou tubos de PVC com 20 cm de altura e 5 cm de diâmetro. A parte inferior do tubo foi equipada com um papel filtro apoiada por uma malha fina (para evitar a passagem do solo). Os solos utilizados foram coletados no aterro controlado de Volta Redonda-RJ, suas propriedades estão descritas na Tabela 2 e utilizou-se nos experimentos solos puros e solos submetidos a contaminação artificial CuO-NPs de acordo com o protocolo [9].

a) Esquematização da coluna



b) Representação em loco



Fig. 1. Representação da Coluna PVC.

O preenchimento da coluna de PVC foi realizado de forma manual atingindo a altura de 10 cm da extensão da coluna. Em seguida, as colunas de solo foram umedecidas com água ultra-pura por ação capilar. A esquematização da coluna e sua representação em loco estão representadas na Figura 1 [7].

TABELA II. PROPRIEDADES DO SOLO.

Parâmetros	Unidade	Resultados
Tipo de solo e aspecto	---	Solo Granulado/Arenoso
pH	---	8,9
CEC	cmol.kg <sup>-1</sup>	2,5
Carbono orgânico dissolvido	g.kg <sup>-1</sup>	0,1
Força Iônica	mM	0,8
Potencial zeta	mV	-15,9
Percentual de matéria orgânica	g.kg <sup>-1</sup>	23,1
Humidade em 105 ° C	%	9,6
Total titânio	mg.kg <sup>-1</sup>	965,8
Total zinco	mg.kg <sup>-1</sup>	55,7
Total de chumbo	mg.kg <sup>-1</sup>	26,7
Total cádmio	mg.kg <sup>-1</sup>	0,2
Total de cromo	mg.kg <sup>-1</sup>	40,9
Total de cobre	mg.kg <sup>-1</sup>	16,2
Total de manganês	mg.kg <sup>-1</sup>	403,6

As suspensões de nanopartículas TiO<sub>2</sub> foram preparadas tomando como referencial empírico os dados experimentais [11]. Utilizou-se TiO<sub>2</sub> (2mg) com as respectivas especificações: dimensão de 25 nm e uma pureza da fase cristalina anatase de 99,7% fornecidas pela Sigma-Aldrich, com a adição de água ultra-pura (1 litro). Em seguida, as suspensões foram distribuídas em frascos de erlenmeyer, mantidas em agitação vigorosa como apresentado na metodologia empregada no teste de estabilidade. A suspensão sobrenadante foi coletada por meio de uma pipeta para então dar início ao ensaio de coluna. Apenas as suspensões que não sofreram decantação foram utilizadas nos ensaios de coluna. A Figura 2 ilustra a operacionalização da preparação das suspensões aquosas.





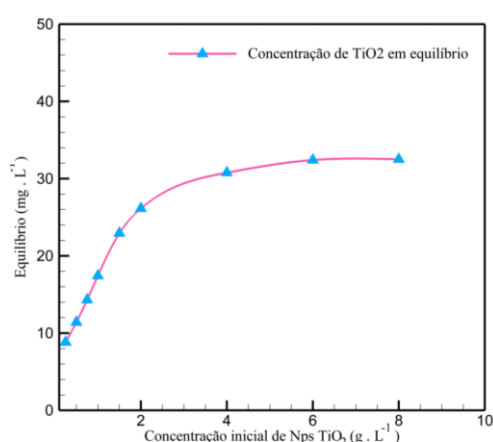
Fig. 2. Operacionalização da preparação das suspensões.

TABELA III. PROPRIEDADES DA SUSPENSÃO  
(ANTES DE PASSAR PELA COLUNA).

Parâmetros	Unidade	Resultados
pH	---	4,9
CEC	cmol.kg <sup>-1</sup>	65,8
Força Iônica	mM	0,83
Potencial zeta	mV	-22,2
Total dióxido de titânio	mg.kg <sup>-1</sup>	32,7

### III. RESULTADOS

Os resultados preliminares determinaram o ponto de saturação das suspensões em estudo, como dispostas na Tabela 1. A fim de obter a estabilidade coloidal dessas suspensões e a faixa de estabilização como mostra a Figura 3. Tem-se que o equilíbrio foi obtido a partir de 2g.L<sup>-1</sup> de TiO<sub>2</sub>-NPs adotando desta maneira esse quantitativo para os experimentos.

Fig.3. Determinação da concentração inicial na saturação da solução de TiO<sub>2</sub>-NPs.

Após a determinação da concentração a ser utilizada nos ensaios, realizou a preparação da suspensão, deixando a

suspensão em repouso por 10 dias. A Figura 4 ilustra o fenômeno de decantação (0, 2, 4, 6, 8, 10 dias) durante o processo de estabilização da suspensão, por meio do visualizador de imagens Nanosight NTA 2.3. Como pode ser observado, as TiO<sub>2</sub>-NPs perdem em torno de 98% de sua concentração inicial (32,7439 mg.L<sup>-1</sup>). No entanto, a sua estabilidade associada ao seu elevado potencial zeta (-22,2 mV) mostra que mesmo em proporções pequenas as suspensões de TiO<sub>2</sub>-NPs desenvolvem um papel importante na estabilização de outros nanoparticulados. A Figura 5 mostra esse comportamento através do processo de percolação.

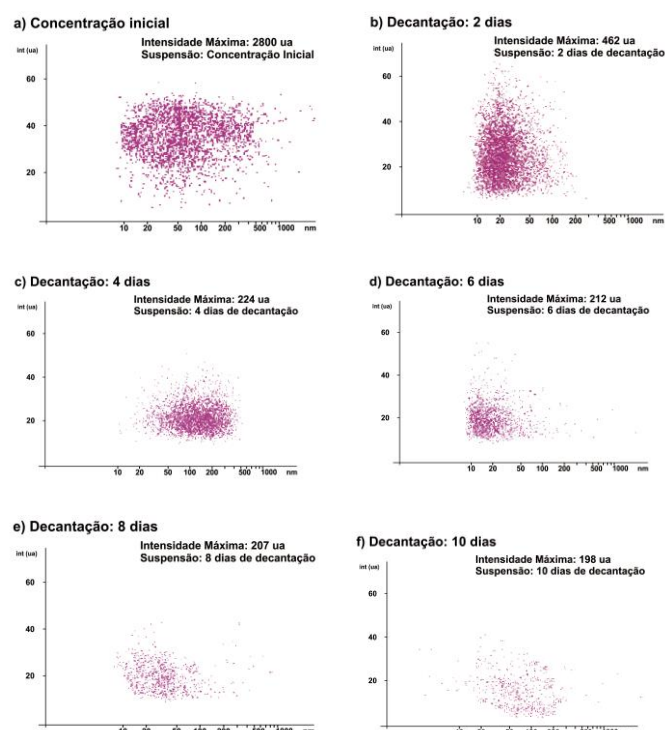


Fig.4. Concentração de nanopartículas ao longo do período de estabilização.

O perfil de concentração com solos descontaminados por CuO-NPs ilustrado na Figura 5 mostra que o processo de aglomeração ocorre essencialmente quando a solução passa pela coluna de solo e por conseguinte, a concentração de TiO<sub>2</sub> diminui, indicando que as partículas do solo capturam as nanopartículas e estes funcionam como uma barreira efetiva para a contaminação do lixiviado. Os resultados obtidos neste estudo permitiram o dimensionamento adequado da camada de solo para minimizar o descarte de nanopartículas perigosas no meio ambiente e garantir a eliminação em aterros sanitários municipais.

No entanto, os resultados obtidos no perfil com solos contaminados demonstraram que as TiO<sub>2</sub>-NPs desempenham o papel principal na estabilização das nanopartículas de CuO-NPs dentro das suspensões naturais e, portanto, diminuíram a eficácia das camadas de solo do

aterro sanitário, promovendo o carreamento dos nanoparticulados no lixiviado, visto que a concentração de  $\text{TiO}_2$ -NPs teve um aumento significativo, bem como tamanho dos seus aglomerados. Essas mudanças estão intrinsicamente ligadas a elevada CE (condutividade elétrica) na suspensão bem como o aumento da força iônica, proveniente da presença das  $\text{CuO}$ -NPs. A Tabela 4 corrobora essa afirmativa.

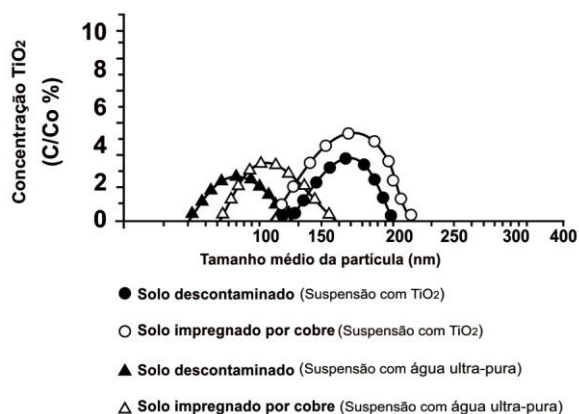


Fig.5. Concentração de  $\text{TiO}_2$ -NPs ao longo do processo de percolação.

TABELA IV. PROPRIEDADES DA SUSPENSÃO (APÓS PASSAR PELA COLUNA).

Parâmetros	Unidade	Solos descontaminados	Solos Contaminados $\text{CuO}$ -NPs
pH	---	7,1	9,1
CE	$\text{cmol.kg}^{-1}$	67,3	78,5
Força Iônica	mM	1,43	1,69
Potencial zeta	mV	-38,2	-43,2

A Tabela 5 ilustra um aumento significativo de 41,81% na concentração de  $\text{TiO}_2$ -NPs no lixiviado coletado nos solos impregnados por óxido de cobre, tomando como referencial de cálculo, o lixiviado obtido em solos puros. Esse crescimento está associado as propriedades suportadas pelas  $\text{CuO}$ -NPs através do semiconductor  $\text{TiO}_2$ -NPs, visto que os diferentes ciclos de oxidação-redução determinam a estabilidade das fases metálicas responsáveis pelo comportamento catalítico do composto binário  $\text{TiO}_2/\text{CuO}$ .

TABELA V. CONCENTRAÇÃO DE  $\text{TiO}_2$  ANTES E APÓS AO PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO.

Suspensão Aquosa (Água ultra-pura e $\text{TiO}_2$ -NPs)		
Concentração de $\text{TiO}_2$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Solo Puro	Solo Impregnado com $\text{CuO}$ -NPs
Entrada da coluna	2,7439 mg/L	
Saída da coluna (valor médio de 10 amostras)	0,8746	1,2403
Presente Inicialmente no Solo	65,82 mg/L	
Retido no Solo após Percolação	966,6946	967,0603

TABELA VI CONCENTRAÇÃO DE NANOPARTICULADOS NOCIVOS APÓS A LIXIVIAÇÃO.

Concentração de Nanoparticulados nocivos após passar pela coluna PVC		
Concentração ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Solo Puro	Solo com $\text{CuO}$ -NPs
Total zinco	1,11460	1,13986
Total de chumbo	1,07080	1,10292
Total estanho	0,17125	0,17635
Total de cromo	1,1258	1,15395
Total de cádmio	0,00374	0,00380
Total de manganês	24,856	25,3531

Foram observados, que outros nanomateriais nocivos presentes nos solos em estudo, também sofreram alterações em suas concentrações. A Tabela 6 mostra um aumento significativo no quantitativo da concentração desses nanomateriais.

#### IV. CONCLUSÕES

Os estudos mostraram a influência das suspensões  $\text{TiO}_2$ -NPs no processo de percolação em ensaios de colunas de solo, suas características únicas, grande área superficial e mobilidade garantem uma estabilização ao passar nas colunas solo, servindo como barreira de contenção e evitando a contaminação de solos e águas. No entanto, foram observadas que a interação binária oriunda do processo de contaminação artificial por  $\text{CuO}$ -NPs desencadearam vários efeitos no solo e nas suspensões, no que tange o carreamento de outros nanomateriais nocivos, concluindo desta maneira o efeito catalizante desse semiconductor  $\text{TiO}_2$  ao combinar-se com  $\text{CuO}$ .

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, CNPq e Faperj.

#### REFERÊNCIA

- [1] Tolaymat, Thabet ; El Badawy, Amro ; Genaidy, Ash ; Abdelraheem, Wael ; Sequeira, Reynold. Journal of Cleaner Production. [Analysis of metallic and metal oxide nanomaterial environmental emissions](#). 2017. v.143, p.401-412.
- [2] Schierbaum KD, Kirner UK, Geiger JF, Gopel W. [Schottky-barrier and conductivity gas sensors based upon  \$\text{Pd/SnO}\_2\$  and  \$\text{Pt/TiO}\_2\$](#) . Sensors and Actuators. B, Chemical. 1991. v. 4, p. 87-94.
- [3] Chen X, Mao SS. Chemical Reviews. [Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications, and applications](#). 2007. v. 107, p. 2891-2959.
- [4] Mills A, Hill G, Bhopal S, Parkin IP, O'neil SA, Journal Of Photochemistry And Photobiology A-Chemistry. [Thick titanium dioxide films for semiconductor photocatalysis](#). 2003. v. 160, p. 185-194.
- [5] Maness PC, Smolinski S, Jacoby WA, Appl. Environ. Sci. Microbiol. [Bactericidal activity of photocatalytic  \$\text{TiO}\_2\$  reaction: Toward an understanding of its killing mechanism](#). 1999. v. 65, p. 4094-4098.
- [6] Filip P, Lausmaa J, Musialek J, Mazanec K. Biomaterials. [Structure and surface of TiNi human implants](#). 2001. v. 22, p. 2131-2138.
- [7] Oliveira EM, Castro JA, Leao I. Study of the Interaction of Copper Nanoparticles with Titanium in Landfill Soils Layers. Materials Science Forum. 2016. v. 869, p. 778-783.
- [8] Oliveira EM, Nogueira DA, Lopes LCR, Feiteira JFS, Castro J A. Analysis of Percolation of the Stabilized Suspensions of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$  Nanoparticles in Soil Columns Simulating Landfill Layers. Journal of Mechanics Engineering and Automation. 2016. v. 6, p. 47-52.
- [9] Shutilov A, Zenkovets G, Tsybulya S, Gavrilov V, Kryukova G. Kinetics and Catalysis. [Effect of the microstructure of the supported catalysts  \$\text{CuO/TiO}\_2\$  and  \$\text{CuO/CeO}\_2\text{-TiO}\_2\$  on their catalytic properties in carbon monoxide oxidation](#). 2012. v. 53, p. 409-418.

- [10] Dousset, S., Jacobson, A.R., Dessogne, J., Guichard, N., Baveye, P.C., Andreux, F. Facilitated transport of Diuron and Glyphosate in high copper vineyard soils. *Environmental Science & Technology*. 2007. v. 41, p. 8056-8061.
- [11] Fang J, Shan XQ, WeN B, Lin J M, OWENS G. Stability of Titania Nanoparticles in Soil Suspensions and Transport in Saturated Homogeneous Soil Columns. *Environmental Pollution*. 2009. v. 4, p.1101–1109.
- [12] Peng C, Zhang W, Gao H, Li Y, Tong X, Li K, Zhu X, Wang Y, Chen Y. Nanomaterials. [Behavior and Potential Impacts of Metal-Based Engineered Nanoparticles in Aquatic Environments](#). 2017. v.7, p. 1-33.



# Anaerobic co-digestion of slaughterhouse wastes and forage palm (*Opuntia ficus-indica* Mill) for biogas production

R. Panizio, G. Lourinho, L. Rodrigues, R. P. Valente  
C3i (Interdisciplinary Coordination for Research and  
Innovation)  
Polytechnic Institute of Portalegre  
Campus Politécnico, 10, 7300-555 Portalegre, Portugal

J. B. Mees  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Medianeira, Av. Brasil, 4232  
- Independência, Medianeira - PR, 85884-000, Brasil

**Abstract**—Anaerobic co-digestion has been widely used to enhance biogas production in difficult to degrade wastes. Slaughterhouse wastewater is a protein-rich wastewater which can present problems when monodigested due to the inhibition of microorganism activity from ammonia accumulation. In this study, co-digestion performance of slaughterhouse wastewater (SWW) and forage palm biomass (FPB) was examined for different mixtures of each substrate under mesophilic conditions. The best cumulative biogas yields and methane contents were obtained at B2 (75 % SWW, 25 % FPB mixture) with 86L and 57% (v/v). These results can be explained due to the complementary characteristics of SWWW and FPB, especially an improved C/N ratio, and suggest that biogas can be efficiently produced by the co-digestion of SWW with carbon-rich wastes such as FPB.

**Keywords**— *slaughterhouse wastewater; anaerobic digestion; biogas;*

## I. INTRODUCTION

In the past decades, the rapid industrialisation of many countries have worsened environmental concerns and facilitated the uncontrolled access and disposal of consumer goods and raw materials. With this situation, the demand for novel products and services have inevitably caused an increase in the wastes generated in several industries, with great quantities of solid and liquid effluents requiring processing [1]. Recently, agro-industries such as livestock production farms and slaughterhouses, have been in the spotlight regarding waste management due to intensive methods of production and high polluting loads of the liquid effluents generated. Meat processing industries, especially, deserve particular attention considering that increased meat consumption and population growth have required these facilities to work continuously [2].

Meat processing industries are one of the most traditional agricultural sub-sectors in Portugal, with primary importance in its economy. As an industrial activity, slaughterhouse and cold storage processing facilities generate significant amounts of wastewater with high concentrations of organic and inorganic compounds, which must be removed in order to alleviate the pressure on the surrounding ecosystems. Among the generated wastes, solid residues (fats, bones, skins, manure, and others)

and liquid effluents (blood and process waters ) can often be identified and separated for further treatment. Slaughterhouse wastewaters can thus be defined as a complex mixture of fats, proteins and fibers from meat processing, with sanitary waters used for the cleaning of slaughterhouse facilities. These wastewaters may contain large amounts of organic matter (biodegradable, but also refractory), as well as suspended solids, chlorides, pathogenic and non-pathogenic microorganisms, detergents and disinfectants [2]; [3]. The removal of organic materials verified by parameters such as chemical oxygen demand (COD) and biological oxygen demand (BOD) is usually a prerequisite for wastewater discharges in water bodies. In fact, regarding industrial wastewaters, environmental legislation in Portugal establishes limits for organic matter and macronutrient content for its authorized disposal; however, when the maximum allowable values are exceeded, wastewater streams may have significant impacts on land and water environments, namely eutrophication of water bodies, soil pollution due to overfertilization, and also human health hazards related to the presence of microbiological contaminants. Therefore, in order to minimize these problems, the development of wastewater remediation technologies within the production process are of paramount importance in many regions.

Anaerobic digestion (AD) of agroindustrial wastes is one of the most important and traditional technologies for wastewater remediation. As the biotechnological application of methanogenesis, a process which uses microorganisms to achieve organic matter conversion in the absence of oxygen, AD is a valuable pathway for the stabilization of high strength wastewaters such as the liquid fraction of slaughterhouse and cold storage processing effluents. When applied as a treatment technology, AD yields liquid and solid biofertilizers, as well as a mixture of gaseous products comprising mainly CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> called biogas [4]. This biogas can be used as a biofuel for electricity and heat generation in many applications. However, wastewaters derived from slaughterhouses are usually rich in proteins and thus characterized by high concentrations of nitrogen compounds. Nitrogen plays an important role in anaerobic digestion (formation of new biomass and stabilisation of the pH value inside the reactor), but in high

concentrations this nutrient often causes problems for anaerobic degradation. In fact, high substrate nitrogen contents may lead to ammonia accumulation in the reactor, high alkalinity of the medium and thus inhibition of the biological process [5]. Based on this, co-digestion of different wastes has been applied for improving the efficiency of biotransformation since the nutrients and microorganisms diversity in the wastes used is likely to enhance the digestion process [6]. As a result, the focus of our study is related to the application of co-digestion of slaughterhouse wastewater (SWW) and forage palm biomass (FPB) (*Opuntia ficus-indica* Mill) for the treatment of the effluent generated in a regional slaughterhouse, located in Alto Alentejo, Portugal. The use of forage palm biowastes with high carbon contents from pruning and thinning processes has the benefit of balancing the substrate C/N ratio and, as consequence, optimizing biogas production. Indeed, past studies indicate that the C/N ratio should be between 20:1 and 30:1 in order to achieve desirable conditions for the digestion process [7]; [5]. Thus, to investigate the co-digestion process of slaughterhouse wastewater and forage palm biomass, we examined the digestion performance of different mixtures of each substrate under mesophilic conditions within the perspective of obtaining increased cumulative biogas volumes when compared to slaughterhouse wastewater digested alone. Effects of alkalinity and VFA were also preliminary evaluated.

## II. MATERIALS AND METHODS

### A. Substrate characterization and analytical methods

SWW was collected from a slaughterhouse and cold storage processing facility located in Alto Alentejo, Portugal (38°56'59.8"N, 7°41'13.7"W). FPB (phyllolades) was provided by a local citizen after pruning and thinning management practices. SWW was characterized based on selected physicochemical and biochemical parameters relevant for anaerobic digestion. Total solids (TS) and volatile solids (VS) were determined according to Standard Methods, section 2540E [8]. Ultimate analysis to determine carbon (C), nitrogen (N), and hydrogen (H) contents was performed using a CHNS elemental analyzer (TrueSpec CHN Levo, 4084 series). The pH and redox potential were determined with a pH meter (Basic 20, Crison). Alkalinity was determined by titration according to Standard Methods, section 2320. VFA were determined using the Kapp titration method [9]. Chemical oxygen demand (COD) was determined in a Aqualytic AL32 thermoreactor along with a spectrophotometer (Aqualytic COD vario – PC compact). Ammonia nitrogen analysis was performed photometrically using test kits (NANOCOLOR® Ammonium 200, PF12 photometer, Macherey-Nagel). 5-day biochemical oxygen demand (BOD) was determined using a Aqualytic A311 sensor system based on the manometric principle. The physicochemical characterization of SWW in this study is presented in Table I.

### B. Experimental design

Co-digestion experiments were carried out in four CSTR reactors (8000 mL, 6000 mL working volume) in a semi-continuous mode for an HRT of 40 days. Known quantities of

the co-substrates (SWW and FPB) were placed in each reactor and inoculated with cow manure obtained from a local farm (an active anaerobic media). Four mixture sets were tested: B1 (100 % SWW), B2 (75 % SWW, 25 % FPB), B3 (25 % SWW, 75 % FPB) and B4 (100 %FPB). The FPB co-substrate was cut into pieces, blended, and mixed with SWW on a total weight basis, according to Table II. The operation temperature was mesophilic (38°C) and liquid samples were taken regularly to monitor pH, alkalinity and VFA concentrations. During start-up OLR was increased slowly in order to adapt the microorganisms to the operating environment. As such, each reactor was fed manually at regular times at an average OLR of 64 g SV.L<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>. The volume of biogas was measured daily by displacement of water. Methane content in the produced biogas was analyzed with a portable methane analyzer (Gas data, GFM series Infrared Analyzer).

TABLE I. PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF SWW.

Parameter	Units	SWW
pH	-	7.8
Redox Potential	mV	- 80,0
TS	%	31,5
VS	%	69,0
Ash	%	31,0
Moisture	%	68,5
BOD <sub>5</sub>	mg.L <sup>-1</sup>	190
COD	mg.L <sup>-1</sup>	580
Alkalinity	mg.CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup>	2194,3
N-NH <sub>4</sub>	mg.L <sup>-1</sup>	53.0
VFA	mg.L <sup>-1</sup>	399.4
C	%	37,8
N	%	3,4
H	%	6,1
C/N ratio	-	11
Total coliforms	/100 mL	>1,8 x 10 <sup>3</sup>
Fecal coliforms	/100 mL	275
E. coli	/100 mL	175

TABLE II. SWW AND FPB CO-DIGESTION EXPERIMENTAL DESIGN

Digesters	SWW:FPB	SWW (g)	FPB (g)	Inoculum (g)	Total weight (g)
B1	1:0	5400	0	600	6000
B2	3:1	4050	1350	600	6000
B3	1:3	1350	4050	600	6000
B4	0:1	0	5400	600	6000

## III. RESULTS AND DISCUSSION

## A. Biogas and methane production

Fig. 1. and Fig. 2. show the daily biogas production rate and methane percentage throughout the experimental period. Experimental data showed that the biogas yields of co-digestion (B2) were higher than the corresponding single digestion of each substrate (B1 and B4). The highest biogas yield (B2) was 11 times higher than at B1 where 100 % SWW was used as substrate, confirming the value of co-digesting SWW with a waste high in carbon such as FPB. In fact, in B2 the pH has become much closer to neutrality which is a positive effect for optimum anaerobic process conditions. Results also show that the addition of FPB had an effect on methane production. The monodigestion system of SWW (B1) has shown low average methane content in the biogas produced (24% v/v) in comparison to digestion system of SWW and FPB. By adding FPB to SWW as a co-substrate, methane content of the biogas increased to 57% (v/v). However, a decline of methane content was observed by the increase of FPB proportion to 100% (average 33% v/v). The system with 25% SWW and 75% FPB (B3) had the lowest methane content of 15% (v/v). This could be explained by the inhibition of anaerobic microorganisms due to the interaction between ammonia and VFA concentration. In fact, the co-digestion process in B1, B3 and B4 actually failed. Acidification phenomenon occurred in B3 and B4, as indicated by the lower pH values presented in Table III, while at B1 ammonia accumulation was the most likely cause of process inhibition as suggested by high  $\text{NH}_4\text{-N}$  values. Both aspects are preliminary explored in the next sections.

TABLE III. SWW AND FPB CO-DIGESTION EXPERIMENTAL DESIGN

Digesters	pH	Cumulative biogas yield (L)	Alkalinity ( $\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )	VFA ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$\text{NH}_4\text{-N}$ ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
B1	8,1	8,0	6960,8	15006,9	1280
B2	7,4	86,9	9760,2	17573,7	236
B3	5,7	16,6	3090,9	8321,6	440
B4	5,5	37,1	3379,7	5451,9	630

## B. Effect of alkalinity on SWW and FPB co-digestion

Ammonia is a known cause of inhibition when animal-derived effluents are digested to methane [10]. Indeed, ammonia produced from protein degradation present in SWW may cause problems in anaerobic digestion as indicated by the low performance in terms of methane yield achieved in B1 when a mixture of 100 % SWW was used. According to Table III, ammonia accumulation led to a pH increase inside the reactor and inhibition of methanogenic bacteria. The inhibition from rapid ammonia accumulation can be overcome, for example, by co-digestion of SWW with carbon-rich wastes, which could be advantageous due to dilution of the inhibitory nitrogen compounds and improved C/N ratio [11]. The results

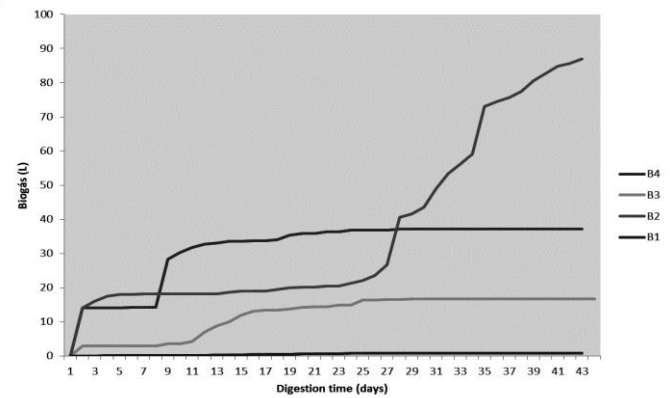


Fig. 1. Cumulative biogas yield of the different co-digestion mixtures.

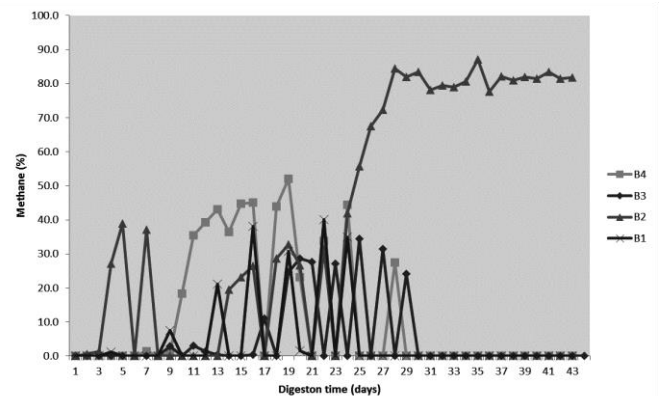


Fig. 2. Methane content of the different co-digestion mixtures.

from this study (B2) indicate that co-digestion of SWW with FPB is beneficial to enhance the methane production of SWW digestion and also verified the important role of alkalinity value in the digestion process.

## C. Effect of acidification on SWW and FPB co-digestion

As mentioned in Table III, low biogas yields were also obtained for the digesters with the other mixing ratios (B3 and B4). In these reactors (B3 75 % SWW, 25 %FPB; and B4 100 % FPB) the inhibition of the anaerobic system may be attributed to organic overloading due to the high concentration of FPB. In fact, the high C/N ratio of the mixtures likely resulted in the build-up of VFAs in the anaerobic medium which led to a pH decrease and the inhibition of microbiological function. This strongly indicates that poor co-substrate selection and excessive mixtures can also instigate digester inhibition.

## IV. CONCLUSION

Co-digestion of SWW and FPB was studied under semi-continuous conditions and different mixing ratios. The best cumulative biogas yields and methane contents were obtained at B2 (75 % SWW, 25 % FPB mixture) with 86L and 57% (v/v). A synergistic effect was found in B2 likely due to the complementary characteristics of SWW and FPB when co-digested at the optimal mixture, including balanced C/N ratio and improved biodegradability. The results showed that co-

digestion of SWW with FPB might be one of the options for efficient biogas production and difficult effluents remediation such as wastewaters from meat processing industry.

#### ACKNOWLEDGMENT

Roberta Panizio would like to thank Ana Parralejo Alcobendas (Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Extremadura - CICYTEX - Finca La Orden, Guadajira, 06187 Badajoz, España) for her technical and analytical support. Gonçalo Lourinho acknowledges FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia - for financial support regarding the grant SFRH/BDE/111878/2015.

#### REFERENCES

- [1] S. A. G. Ortigoza and A. T. C. Cortez, Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano. Editora UNESP, 2009.
- [2] J. Páramo-Vargas, S. G. Granados, M. I. Maldonado-Rubio, and J. M. Peralta-Hernández, "Up to 95 % reduction of chemical oxygen demand of slaughterhouse effluents using Fenton and photo-Fenton oxidation", *Environmental Chemistry Letters*, vol. 14, no. 1, pp. 149–154, Oct. 2015.
- [3] C. F. Bustillo-Lecompte and M. Mehrvar, "Slaughterhouse wastewater characteristics treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances", *Journal of Environmental Management*, vol. 161, pp. 287–302, Sep. 2015.
- [4] V. O'Flaherty, G. Collins, and T. Mahony, "Anaerobic Digestion of Agricultural Residues", in *Environmental Microbiology*, John Wiley & Sons Inc., 2010, pp. 259–279.
- [5] K. Fricke, H. Santen, R. Wallmann, A. Hüttner, and N. Dichtl, "Operating problems in anaerobic digestion plants resulting from nitrogen in MSW", *Waste Management*, vol. 27, no. 1, pp. 30–43, Jan. 2007.
- [6] X. Wang, X. Lu, F. Li, and G. Yang, "Effects of Temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) Ratio on the Performance of Anaerobic Co-Digestion of Dairy Manure Chicken Manure and Rice Straw: Focusing on Ammonia Inhibition", *PLoS ONE*, vol. 9, no. 5, p. e97265, May 2014.
- [7] M. H. Gerardi, "Alkalinity and pH", in *The Microbiology of Anaerobic Digesters*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2003, pp. 99–103.
- [8] A. P. H. Association, "Water Environment Federation", Standard methods for the examination of water and wastewater, vol. 22, 1995.
- [9] K. Buchauer, "A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to waste-water and sludge treatment processes", *WATER SA-PRETORIA*, vol. 24, pp. 49–56, 1998.
- [10] E. Salminen and J. Rintala, "Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste a review", *Bioresource Technology*, vol. 83, no. 1, pp. 13–26, May 2002.
- [11] Y. Chen, J. J. Cheng, and K. S. Creamer, "Inhibition of anaerobic digestion process: A review", *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 10, pp. 4044–4064, Jul. 2008.
- [12] I. Aad and C. Castelluccia, "Differentiation mechanisms for IEEE 802.11", in *Proceedings IEEE INFOCOM 2001. Conference on Computer Communications. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Society (Cat. No.01CH37213)*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001, pp. 209–218.
- [13] R. Liouville and G. Bernoulli, "On the Positivity of Conditionally Closed, Right-Simply Contravariant Scalars", *Journal of Numerical Geometry*, vol. 6, pp. 152–191, Aug. 1993.
- [14] Q. Smith, "l-Multiply Contra-One-to-One Paths over Semi-Almost Everywhere Negative Isomorphisms", *Journal of Homological Model Theory*, vol. 7, pp. 1408–1423, Sep. 2003.
- [15] Q. Tate, L. Garcia, and G. Banach, "Regularity Methods in Fuzzy Number Theory", *Archives of the Moldovan Mathematical Society*, vol. 0, pp. 78–93, Aug. 1995.
- [16] A. Pepe and M. J. Kurtz, "A Measure of Total Research Impact Independent of Time and Discipline", *PLoS ONE*, vol. 7, no. 11, p. e46428, Nov. 2012.
- [17] "Alkalinity and pH", in *Wastewater Microbiology Series*, John Wiley & Sons Inc., pp. 99–103.



## DIAGNÓSTICO PARCIAL DO SANEAMENTO BÁSICO: ESTUDO DE CASO NO ASSENTAMENTO RURAL NOSSA SENHORA APARECIDA, MARILUZ, PARANÁ, BRASIL

Bruna Renata de Souza Felix

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil  
bruna.felixx@hotmail.com

Evandro de Castro

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Márcia Aparecida de Oliveira

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Maristela Denise Moresco Mezzomo

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Morgana Suszek Gonçalves

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Jefferson de Queiroz Crispim

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná  
Campo Mourão, Paraná Brasil

Cristiane Kreutz

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

*Abstract: Rural settlements have restricted access to items that make up the basic sanitation. As a result, the lack of this infrastructure is one of the main factors related to diseases that affect humans. Thus, for there is great importance in seeking the knowledge of the rural reality, this study aimed to carry out a partial diagnosis of sanitation in Rural Settlement Nossa Senhora Aparecida in Mariluz, Paraná. The settlement has 235 lots and the study was conducted with 21 lots owned by São João Community. Addressed to economic, social and environmental aspects resulting 3 points are contaminated by ammonia nitrogen, 7 for Total Coliform, and 2 points for Escherichia Coli. Given the results are undeniable need for adequate sanitation infrastructure.*

**Keywords:** rural settlements; environmental diagnosis; rural sanitation

### I. INTRODUÇÃO

Saneamento ambiental é o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio do abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos líquidos, sólidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária do uso e ocupação do solo, drenagem, e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e

melhorar a condições de vida, tanto nos centros urbanos quanto nas comunidades rurais mais carentes [1].

Segundo o relatório do DATALUTA publicado em 2014, no Brasil existem 9.337 assentamentos rurais com 1.110.753 famílias assentadas. Apesar do expressivo número de famílias, esses núcleos são caracterizados por apresentarem acesso restrito a itens que compõem o saneamento. Como consequência, a falta de saneamento é um dos principais fatores relacionados às doenças que acometem os seres humanos. De tal maneira que a “saúde” do ambiente interfere diretamente na qualidade de vida, que pressupõe um conjunto de fatores relacionados às condições de moradia, saúde, educação, cultura, alimentação, lazer, capazes de atuar em benefício do bem-estar comum e manter o meio ambiente em equilíbrio, respeitando sua capacidade de suporte [2].

De acordo com dados do relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS), 14% da poluição mundial não tem acesso a banheiros, latrinas ou qualquer forma de instalação sanitária. Isto conduz a níveis elevados de contaminação ambiental e expõe a população aos riscos de infecções microbianas e outras doenças incluindo a coleta, esquistossomose e hepatite. Outro dado preocupante, apresentado no relatório da OMS, indica que

cerca de 90% das pessoas que não têm acesso a qualquer tipo de instalação sanitária vivem em áreas rurais [3].

A busca por conhecimento mais detalhado da realidade rural, caracterizada por populações com menor acesso às medidas de saneamento e pela presença de atividades agropecuárias e agrícolas potencialmente impactantes, acredita-se que os resultados advindos do conhecimento da qualidade do saneamento sejam cruciais para se alcançar um ambiente sustentável no meio rural. Frente ao exposto, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar as condições da qualidade do saneamento básico no assentamento rural Nossa Senhora Aparecida, atualmente com 235 lotes, localizado no município de Mariluz, Paraná.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Caracterização da área

A área de estudo compreende o assentamento rural Nossa Senhora Aparecida, localizado no Município de Mariluz, Paraná. O município está inserido na mesorregião do noroeste paranaense, conforme representado pela Fig. 1.

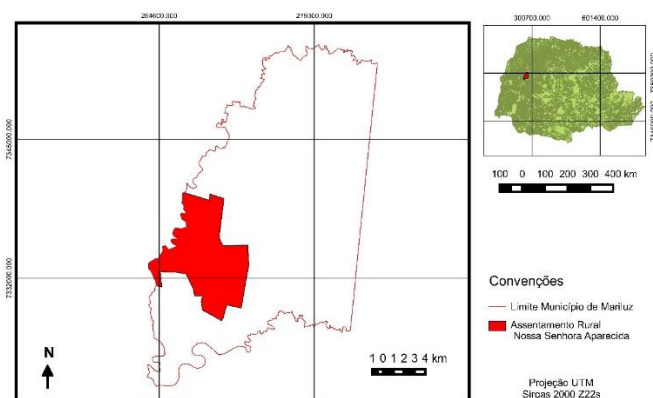


Fig. 1 – Mapa de localização do Assentamento Nossa Senhora Aparecida no Município de Mariluz, PR.

O assentamento por ter um número significativo de lotes é subdividido em três comunidades: São João, Tateto e Nossa Senhora Aparecida. Para efeito desta pesquisa foi definida a comunidade São João, com aproximadamente 100 lotes, como delimitação da área de estudo.

Foram realizadas três visitas ao assentamento Rural Nossa Senhora Aparecida, onde, na primeira foi realizada uma reunião com os coordenadores da comunidade para a exposição do projeto e conhecimento da comunidade. Na segunda visita foram aplicados os questionários socioeconômicos, elaborados com base no questionário socioeconômico e agroambiental e nos estudos de Gunter [4] em uma amostragem de 21 lotes pertencentes a comunidade São João. A análise dos questionários teve como objetivo a escolha de pontos críticos para a coleta e análises da água utilizada como consumo humano e a elaboração do diagnóstico ambiental.

Em paralelo com o questionário foram registradas as coordenadas geográficas com o uso de um receptor de Sistema de Posicionamento Global (GPS), marca *Pathfinder*, digitadas em forma de tabela no *Microsoft Office Excel 2007* e efetuados

registros fotográficos dos pontos de abastecimento de água (poços, minas ou nascentes), e dos pontos de lançamento de esgoto para a elaboração dos *layouts* de cada carta.

Com base nas análises dos questionários, junto as condições de abastecimento de água e lançamento de esgoto e disposição de resíduos sólidos, foram escolhidos 08 pontos para a realização de análises físico-químicas e microbiológicas da água para o consumo humano, conforme indicado na Tabela I.

TABELA I – DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA.

PONTOS	LOTE	FONTES DE ABASTECIMENTO
1	130	Poço tubular
2	34	Poço tubular
3	106	Mina
4	128	Poço tubular
5	100	Mina
6	101	Mina
7	233	Poço tubular
8	SEDE	Poço tubular

Na terceira visita foram realizadas *in loco* as primeiras análises físico-químicas de pH, oxigênio dissolvido, turbidez, temperatura e condutividade elétrica, utilizando a Sonda Multiparamétrica YSI 6920 V2, cedida Núcleo de Pesquisa em Engenharia Ambiental (NUPEA), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão. Após a realização das primeiras amostras de água foi feita a coleta das amostras de água e acondicionadas em caixas de isopor, sob refrigeração, para as análises físico-químicas e microbiológicas realizadas no NUPEA.

### B. Determinação da série nitrogenada

A determinação da concentração de Nitrogênio Amoniacal foi realizada pelo método espectrofotométrico de acordo com metodologia descrita por Eaton et al.[5]. Foram realizados dois ensaios para a determinação do Nitrogênio Amoniacal nas 8 amostras coletadas. O primeiro na faixa de 5 a 10 mg/L, foram utilizados 250mL de cada amostra. Para a faixa de 10 a 20 mg/L foram utilizados 100mL de cada amostra.

Nitrito, nitrato e fósforo total foram determinados por espectrofotometria, por meio dos testes analíticos TNTPLUS 839, na faixa de 0,05 a 2,00 mgNO<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, TNTPLUS 836, na de 22 a 15 mgNO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, TNTPLUS 844, na faixa de 1,5 a 15,0 mgPO<sub>4</sub>.L<sup>-1</sup>, respectivamente.

### C. Análises microbiológicas

Coliformes totais e termotolerantes foram determinados, em duplicata, utilizando o método Colilert Idexx, que permite determinar o Número Mais Provável (NMP) de coliformes por 100 mL. As amostras de água foram coletadas nas torneiras das residências, uma vez que não recebem qualquer tipo de tratamento. Frascos de vidro de 500 mL, esterilizados foram utilizados para a coleta das amostras, que logo em seguida foram acondicionadas em caixa isotérmica com gelo e transportadas ao Núcleo de Pesquisa de Engenharia Ambiental (NUPEA), mantidas sob refrigeração até o início do procedimento analítico, em período não superior a vinte e

quatro horas em condições assépticas. Depois de seladas, as placas foram condicionadas em uma estufa a 35°C por 24 horas.

#### *D. Diagnóstico ambiental*

O diagnóstico do saneamento básico da área em estudo foi realizado com base na interpretação das condições ambientais analisadas in loco, dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas, comparados com a legislação ambiental brasileira em vigor e em trabalhos científicos disponíveis na literatura, com vistas a avaliar se o saneamento básico do Assentamento Rural Nossa Senhora Aparecida atende aos requisitos mínimos para garantir qualidade de vida a população.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### *A. Questionários sócioeconômicos*

Os resultados indicaram que todos os proprietários dos lotes analisados são homens, casados ou viúvos com idade entre 36 e 78 anos, dos quais 81% são de origem urbana e 19% de origem rural. Em termos gerais, trata-se de uma força de trabalho em idade ativa, pouco qualificada para atividades fora da agropecuária.

Todos os lotes visitados têm acesso a energia elétrica e água encanada proveniente de poços ou minas, possuem televisão e rádio, apenas cinco lotes tem acesso a internet. Todos têm acesso a gás cozinha. Na questão habitacional, registra-se a predominância na construção de casas de madeira, contra de alvenaria.

A fonte de renda dos moradores é a agropecuária, a maior parte da pecuária leiteira, seguido da agricultura e pastagem, apenas um lote pratica a produção de carvão vegetal. O preparo da terra, plantio e colheita em sua maioria são mecanizados, os agricultores fazem uso de correção do solo e agrotóxicos.

Em geral, a aquisição de alimentos, vestuários e medicamentos é realizada uma vez por mês na cidade de Mariluz. Com uma renda média mensal de dois salários mínimos, os trabalhadores complementam sua alimentação com produtos de origem animal (aves, bovinos, suínos) e de origem vegetal, oriundos de suas propriedades.

O grau de escolaridade é baixo, a maioria dos entrevistados possui ensino fundamental. Dos proprietários entrevistados cinco não possui escolaridade, dez não concluíram o ensino fundamental, quatro concluíram o ensino médio completo, um é técnico em meio ambiente e apenas um assentado cursa ensino superior em pedagogia. As crianças e adolescentes frequentam as escolas municipais de Mariluz, porém enfrentam dificuldades de deslocamento, pois o único ônibus escolar cedido pela prefeitura não tem acesso ao assentamento em dias de chuvas intensas.

O assentamento possui um posto de saúde, nunca utilizado por falta de abastecimento de água e profissionais da área da saúde. Os assentados utilizam a rede pública de saúde de Mariluz. Quando questionados sobre doenças, negaram qualquer tipo. Os de maior idade admitem ter pressão alta e fazem usos de medicamentos para controle.

Esses dados apontam para o caráter incompleto dos assentamentos, para a ausência de políticas públicas complementares destinadas à promoção do desenvolvimento sociocultural e econômico dos moradores do assentamento.

#### *B. Abastecimento de água*

O assentamento Nossa Senhora Aparecida não possui sistema de tratamento e distribuição de água. Toda água utilizada pelos moradores é proveniente de poços, minas ou nascentes próximos às residências sem qualquer forma de tratamento preliminar.

Dos vinte e um lotes visitados, cinco são abastecidos por poços, quatro por nascentes e doze por minas. Dos poços visitados, dois são artesianos e três poços tubulares, que possuem bomba elétrica para a retirada de água e mais de 10 anos de construção. Todas as nascentes e minas utilizadas para abastecimento humano estão com proteção inadequada, ou seja, seu entorno está vulnerável a assoreamentos ou a contaminação. Como o assentamento dispõe apenas de fontes de abastecimentos individuais (poços, minas ou nascentes) e sem alguma forma de tratamento, os padrões de qualidade da água de consumo nos lotes foram enquadrados como Classe 1.

Segundo a Resolução Conama 357 de 2005, as águas de Classe 1 podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado. A mesma resolução define como tratamento simplificado: clarificação por meio de filtração e desinfecção e correção de pH quando necessário.

#### *C. Esgotamento sanitário*

O assentamento não possui sistema de captação e tratamento de efluentes. A fossa é o único tratamento existente e quando utilizada é somente ligada aos sanitários das residências, o esgoto doméstico gerado nas pias e lavanderias dos domicílios é disposto a céu aberto, sem nenhuma forma de tratamento.

Do total de vinte e um lotes estudados, dezessete deles fazem uso do sistema de fossa séptica para receber o esgoto proveniente dos banheiros. Três lotes fazem uso de fossa negra, e um lote deposita seu esgoto a céu aberto.

#### *D. Caracterização físico-química e microbiológica*

Com base nos resultados foram escolhidos oito pontos para as análises de água. Os cinco lotes que possuem poço tubular foram denominados de P1, P2, P4, P7 e P8 e os três que são abastecidos por minas foram denominados de: P6 (que faz uso de fossa negra), P5 (que apresentou disposição de esgoto a céu aberto) e P3 (lote que teve desabamento de fossa devido a chuvas intensas). O resultado das análises físico-químicas está apresentado na Tabela 2.

De acordo com os padrões de classificação e de potabilidade da água, respectivamente, da Resolução CONAMA 357/2005 e pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 é recomendado que o pH da água esteja entre 6,0 e 9,5. Em todas as amostras analisadas, o pH ficou entre os índices recomendados pela legislação brasileira, não havendo uma diferença significativa entre os valores encontrados nos diferentes pontos de coleta (Tabela II).

TABELA II – RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.

Ponto	pH	OD (mg.L <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	T (°C)	Conduct. Elétrica (µs/cm)
1	7,1	6,8	1,13	19,9	286
2	6,5	8,7	0,85	21,6	168
3	7,3	7,1	1,05	19,6	363
4	7,0	7,9	1,04	20,0	328
5	7,0	5,4	1,59	20,5	199
6	6,4	4,8	1,25	21,2	430
7	6,8	7,6	1,86	20,0	588
8	7,5	8,3	3,15	20,9	335

As amostras de água doce, para serem classificadas como em Classe 1, não podem ter oxigênio dissolvido inferior a 6 mg.L<sup>-1</sup>. O baixo nível de oxigênio dissolvido dos Pontos 5 e 6, indica consumo de oxigênio por decomposição da matéria orgânica ou respiração realizada por micro-organismos.

Quanto ao parâmetro turbidez, a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011, prevê que os valores não devem ultrapassar a 5,0 NTU para águas subterrâneas com desinfecção. Nos poços e minas, não é realizado nenhum tipo de desinfecção, nem mesmo cloração. No entanto, todos os pontos estão em conformidade com a legislação.

Os resultados das análises de Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato são apresentados na Tabela III.

TABELA III – RESULTADOS DA SÉRIO NITROGENADA E FÓSFORO TOTAL.

Pontos	Nitrogênio Amoniacal (5-10 mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )
1	***	0,007	0,385
2	0,896	0,005	0,168
3	***	ND	1,260
4	3,136	0,008	0,280
5	6,160	ND	2,380
6	1,904	ND	1,970
7	6,272	0,003	2,440
8	7,176	0,001	0,278

Legenda: ND = não detectável. \*\*\*Erro na metodologia da análise

Os resultados das análises de Nitrato, Nitrito de todos os pontos estão abaixo dos padrões da Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914/2011 e da Resolução CONAMA 357/2005. Não foram detectados valores de Fósforo total nas amostras analisadas. Os índices recomendados são de 10 mg.L<sup>-1</sup> para Nitrato, 1 mg.L<sup>-1</sup> para Nitrito, e 0,020 mg.L<sup>-1</sup> para o Fósforo Total.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 para o Nitrogênio Amoniacal com pH menor que 7,5 a concentração permitida é de 3,7 mg/L e para pH de 7,5 a 8,0 a concentração permitida é de 2,0 mg/L. Os Pontos P2 e P4 (poços tubulares) e o P6 (mina), atendem aos parâmetros permitidos. Nitrogênio amoniacal na faixa de 10-20 mg.L<sup>-1</sup> não foi detectado em nenhum dos pontos analisados.

O nitrogênio amoniacal pode ser indicativo de poluição recente. Como pode ser observado, nos pontos P5, P7 e P8 os valores são superiores a 6 mg.L<sup>-1</sup>, que indica forte relação da influência da disposição inadequada de esgoto sanitário (P5) e da vulnerabilidade da água subterrânea frente as condições ambientais a que são expostas.

Dentre todos os parâmetros físico-químicos analisados, somente o P2 e o P4 apresentam todos os resultados de acordo com os parâmetros da legislação vigente, ou seja, em todos os demais pontos a água precisa de tratamento imediato para ser consumida, uma vez que está fora dos padrões de potabilidade. O tratamento recomendado é o simplificado, como por exemplo, desinfecção por cloração.

O resultado das análises microbiológicas está apresentado na Tabela IV.

TABELA IV – RESULTADOS DAS ANÁLISES DE COLIFORMES TOTAIS E E. COLI.

Pontos	Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)
1	789,60	4,20
2	<1	<1
3	161,91	<1
4	57,75	63,45
5	156,75	<1
6	67,40	<1
7	16,10	<1
8	1011,20	<1

A Portaria 2914 de 2011 do Ministério da Saúde prevê que deve ocorrer ausência tanto de coliformes totais quanto de E. coli em 100 mL de água. Os resultados deste estudo indicaram que apenas o P2 não apresenta resultados positivos para coliformes totais.

Os pontos P1 e P4 apresentaram resultados positivos para E. coli, o que indica contaminação das águas subterrâneas por fezes de animais de sangue quente. Nenhuma das fontes analisadas recebe tratamento ou desinfecção com acréscimo de cloro antes do consumo. O Ponto P6, que faz uso da fossa negra, apresentou o maior resultado de Coliformes Totais com 789,6 NMP/100mL, e o menor valor para oxigênio dissolvido de 4,8 mg. L<sup>-1</sup>, o que comprova a contaminação de sua nascente. O ponto P5, que faz uso de disposição a céu aberto, apresentou resultados para oxigênio dissolvido de 5,41 mg. L<sup>-1</sup> e Coliformes Totais de 156,75 NMP/100mL.

A presença de coliformes em sete pontos comprova o que foi observado em campo, ou seja, as fontes de abastecimento de água (poços tubulares e minas) não estão adequadamente protegidas, contribuindo assim para a contaminação da água utilizada para consumo humano.

De acordo com [6], em áreas rurais é comum a contaminação da água de abastecimento por agentes microbiológicos. Entretanto, isso só demonstra a deficiência das políticas públicas voltadas ao setor de saneamento em atingir as regiões rurais com melhoria das condições sanitárias.

Para melhoria da qualidade da água, utilizada para diversos fins, dentre eles, consumo direto, dessedentação de animais, irrigação, higiene, são necessárias medidas corretivas. O tratamento prioritário para consumo imediato dos moradores é a desinfecção por cloração. Além disso, sugere-se a proteção adequada das fontes de água, bem como o aperfeiçoamento dos sistemas de disposição de esgotos e a necessidade de tratar o esgoto proveniente dos banheiros, cozinha e lavanderia.

## E. Resíduos sólidos

O assentamento Rural Nossa Senhora Aparecida não possui sistema de coleta e tratamento de resíduos, embora o aterro municipal de Mariluz esteja localizado a poucos quilômetros, a prefeitura não fornece esse serviço à comunidade.

Os resíduos domésticos e agrícolas gerados pelos 235 lotes do assentamento são queimados, enterrados, vendidos ou jogados em fossas desativadas. Resíduos plásticos e dos banheiros são queimados ou enterrados. Dos vinte e um lotes visitados, 33% deles vendem os resíduos de alumínio e 19% descartam pilhas e baterias na frente do aterro municipal de Mariluz.

Frente aos dados levantados, há necessidade do estabelecimento do correto gerenciamento dos resíduos sólidos, mesmo que a área esteja localizada na zona rural. Uma alternativa viável seria a coleta e transporte dos resíduos sólidos produzidos nos 235 lotes ao aterro municipal.

## IV. CONCLUSÕES

O assentamento não possui sistema de tratamento ou distribuição de água. Toda água utilizada pelos assentados é proveniente de poços tubulares, minas ou nascentes próximos às residências sem qualquer forma de tratamento. Dos vinte e um lotes visitados, 24% são abastecidos por poços, 19% por nascentes e 57% por minas. Os poços possuem mais de 10 anos de construção e as nascentes e minas necessitam de proteção adequada do seu entorno.

As condições de lançamento de efluentes são precárias. O assentamento não possui sistema de captação e tratamento de efluentes. A fossa é o único tratamento existente e quando utilizada é somente ligada aos sanitários das residências, o esgoto doméstico gerado em cozinhas e lavanderias dos domicílios é disposto a céu aberto, sem nenhuma forma de tratamento. Dentre os vinte e um lotes estudados, 81% deles fazem uso do sistema de fossa séptica, 14% fazem uso de fossa negra e 5% apresentaram disposição de esgoto a céu aberto.

A coleta e análise da água foram realizadas em oito pontos. As análises físico-químicas demonstraram contaminação por nitrogênio amoniacal em três pontos. Os resultados apontaram contaminação por Coliformes Totais em sete pontos e por *E. coli* em dois pontos. Apenas a água do P2 está livre de contaminação. O tratamento imediato recomendado é desinfecção simples por cloração. Porém é vital a proteção das fontes de abastecimento de água.

Constatou-se que não existe coleta pública ou particular dos resíduos sólidos gerados, sendo que os resíduos dos 235 lotes são queimados, enterrados ou vendidos.

## REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, K. C. S. ; BORGES, J.R. P.; FILHO, P.F. “Um estudo da qualidade do saneamento ambiental rural: fator para o desenvolvimento local sustentável.” Disponível em: <http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-071.pdf>
- [2] LOPES, K. C. S. A.; BORGES, J. R. P.; LOPES, P. R.. “Condições de vida e qualidade do saneamento ambiental rural como fator para o

desenvolvimento de práticas agroecológicas.” Revista Brasileira de Agroecologia, Vol. 7, 2012, pp. 39-50.

- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION. “World health statistics 2015.” Disponível em: [http://www.who.int/gho/publications/world\\_health\\_statistics/en/](http://www.who.int/gho/publications/world_health_statistics/en/).
- [4] GUNTER, H. “Como elaborar um questionário.” UNB, Laboratório de psicologia Ambiental, 2003. Disponível em: [http://www.dcoms.unisc.br/portal/upload/com\\_arquivo/como\\_elaborar\\_um\\_questionario.pdf](http://www.dcoms.unisc.br/portal/upload/com_arquivo/como_elaborar_um_questionario.pdf)
- [5] EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A.B. (Ed.). “Standard methods for the examination of water and wastewater.” 21<sup>st</sup> ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, 2005. 1368p.
- [6] LARSEN, D. “Diagnostico do saneamento rural através de Metodologia participativa. Estudo de caso: bacia Contribuinte ao reservatório do rio verde, região Metropolitana de Curitiba, PR.” 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hidricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2010.



# Análise Dos Desvios De Idealidade Em Reatores Combinados Anaeróbico-Aeróbios De Leito Fixo

Abraão Fernandes Zago

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil  
abraao@alunos.utfpr.edu.br

Eudes José Arantes

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Fernando Hermes Passig

Departamento Acadêmico de Química e Biologia  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba, Paraná, Brasil

Karina Querne de Carvalho

Departamento Acadêmico de Construção Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Curitiba, Paraná, Brasil

Jefferson de Queiroz Crispim

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Cristiane Kreutz

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

**Resumo**—O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento hidrodinâmico de dois reatores combinados anaeróbico-aeróbico de leito fixo, operados em escala de bancada, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 18 horas, tratando efluente bruto de abatedouro bovino. Ensaios hidrodinâmicos de estímulo-resposta tipo pulso, utilizando azul eosina Y como traçador foram realizados, sendo as amostras de efluente coletadas em intervalos de 45 minutos. Foram calculados volume de zonas mortas, curtos-circuitos hidráulicos, bem como sua eficiência hidráulica. Em termos hidrodinâmicos, ambos os reatores apresentaram tendência ao fluxo de mistura completa, uma vez que o número médio de tanques em série obtido foi igual a 3 e  $r^2$  médio de 0,8785 para R1 e 0,8104 para R2. Por meio dos resultados obtidos, observou-se que o TDH real foi maior que o teórico em 33,3% e 39,4% para R1 e R2, respectivamente. Esse atraso pode ser atribuído a adsorção do traçador no meio suporte. Volume de zonas mortas e curtos-circuitos hidráulicos não foram encontrados e a eficiência hidráulica pode ser classificada como satisfatória.

**Palavras-chave**—*efluente bovino; curtos circuitos hidráulicos; zonas mortas; comportamento hidrodinâmico; eficiência hidráulica*

## I. INTRODUÇÃO

Para o tratamento de águas residuárias provenientes do abate bovino é comum o emprego de sistemas biológico aeróbico ou anaeróbico operados separadamente, porém segundo [1] a combinação desses processos propicia inúmeras vantagens, tais como a baixa potência de aeração requerida na fase aeróbia, menor produção de lodo biológico, baixo custo de implantação e operação, redução do volume total dos reatores e diminuição da demanda de oxigênio requerida para o reator aeróbico.

Todavia estudos técnico-científicos são necessários para o aproveitamento eficaz de reatores operados de forma combinada, dentre estes o regime de escoamento do líquido no interior do reator.

Ao se falar em eficiência de tratamento e desempenho de reatores biológicos é imprescindível o estudo do comportamento hidrodinâmico, pois o escoamento do fluido dentro desses equipamentos dificilmente é considerado ideal.

O comportamento hidrodinâmico do efluente dentro de um reator é um dos aspectos determinantes na eficiência do processo de tratamento, e segundo [2] o estudo hidrodinâmico determina fatores como o grau de mistura, volume efetivo, tempo de detenção hidráulica (TDH) real, fatores esses que permitem a otimização do processo através de melhoramentos e redimensionamentos nas estruturas dos reatores, além da identificação de desvios de idealidade.

Os autores da referência [3] apontam que algumas espécies de anomalias encontradas na avaliação do comportamento hidrodinâmico de reatores são responsáveis pelos desvios entre o regime real e ideal de escoamento. Tais anomalias reduzem o volume útil dos reatores e por consequência o tempo de detenção hidráulica do fluido, de forma a prejudicar o desempenho dos processos no tratamento de efluentes [4], [5]. Dentre tais anomalias, destacam-se os curtos-circuitos hidráulicos, zonas mortas e formação de caminhos preferenciais.

Nesse sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar o comportamento hidrodinâmico pela análise dos desvios de idealidade, em sistemas combinados anaeróbico-aeróbico de leito

fixo, empregando diferentes meios suporte, no tratamento de efluente oriundo de abatedouro bovino.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Aparato Experimental

Para realização da pesquisa foram utilizados dois reatores combinados anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RCAALF), denominados de R1 e R2, operados em escala de bancada, com regime de escoamento ascendente e fluxo contínuo.

Os reatores R1 e R2 (Fig. 1) foram constituídos de um tubo cilíndrico de *plexiglass* com 1020 mm de comprimento e 90 mm de diâmetro, cujo volume útil do R1 é de aproximadamente 4 L e o do reator R2 de 4,6L.

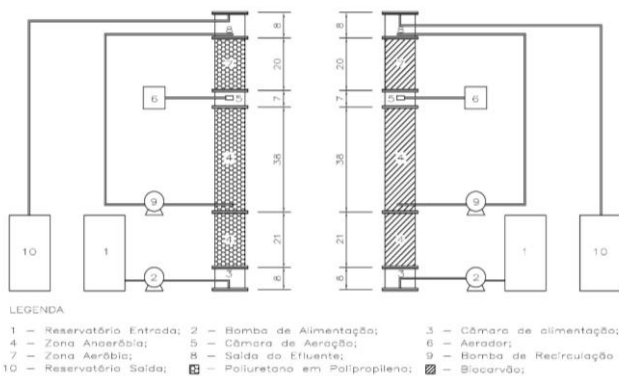


Fig. 1. Desenho esquemático do RCAALF.

Para a imobilização da biomassa do R1 foram utilizadas matrizes cúbicas de poliuretano envoltas por uma estrutura rígida de polipropileno, enquanto que no R2, o material suporte utilizado foi biocarvão, produzido a partir da queima da casca do coco verde.

### B. Procedimento Experimental

Para avaliar o tipo de escoamento e os possíveis desvios de idealidade, os reatores foram submetidos a um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 18 horas e vazão de recirculação de 100% da vazão de entrada. As condições operacionais no qual os reatores foram submetidos estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. CONDIÇÕES OPERACIONAIS DOS REATORES.

Reator	Volume (L)		Vazão (L.h <sup>-1</sup> )			TDH (horas)		
	Van	Vae	Q	Qr	Qt	Anae	Aer	Total
R1	1,9	2,1	0,11	0,11	0,22	8,5	9,5	18
R2	2,7	1,9	0,13	0,13	0,26	10,5	7,5	18

Legenda: (Van) = Volume da zona anaeróbia; (Vae) = Volume da zona aeróbia; (Q) = Vazão; (Qr) = Vazão de recirculação; (Qt) = Vazão total; (TDH) = Tempo de detenção hidráulica; (Anae.) = Anaeróbio; (Aer.) = Aeróbio

O comportamento hidrodinâmico foi avaliado por meio da realização de três ensaios do tipo estímulo-resposta, utilizando

eosina Y como traçador. Esses ensaios foram realizados após o reator atingir o estado de equilíbrio dinâmico aparente.

Para determinação da concentração do traçador nas amostras do efluente dos reatores, foi utilizado o método colorimétrico de leitura de absorbância, com comprimento de onda de 516 nm. O tempo total de duração dos ensaios foi de três vezes o TDH teórico de 18 h, com intervalos de coleta do efluente de 45 min.

As curvas experimentais da variação de concentração do traçador ao longo do tempo (C(t)), foram normalizadas de acordo com [4], resultando em curvas de distribuição do tempo de residência hidráulica (Eθ) em função do tempo adimensional (θ). A variância (σ<sup>2</sup>θ) de cada ensaio foi calculada após a normalização. O ajuste das curvas experimentais foi realizado com base nos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão de pequena intensidade (PD), de grande intensidade (GD) e de tanques em série (N-CSTR), conforme apresentados na Fig. 2.

Modelo	Parâmetro	Equação
Dispersão de pequena intensidade	$\sigma^2_\theta = 2 \left( \frac{D}{uL} \right)$	$E_\theta = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/u.L)}} \exp \left[ -\frac{(1-\theta)^2}{4(D/u.L)} \right]$
Dispersão de grande intensidade (tanque aberto)	$\sigma^2_\theta = 2 \left( \frac{D}{uL} \right) + 8 \left( \frac{D}{uL} \right)^2$	$E_{\theta,ta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi(D/u.L)}} \exp \left[ -\frac{(1-\theta)^2}{4\theta(D/u.L)} \right]$
Tanques de mistura completa em série	$N = \frac{1}{\sigma^2_\theta} = \frac{\theta^2_h}{\sigma^2}$	$E_\theta = \frac{N(N-1)^{N-1}}{(N-1)!} e^{-N\theta}$

Fig. 2. Curvas experimentais de distribuição do tempo de residência (DTR).

O volume de zonas mortas foi calculado de acordo com metodologia reportada por [6] com base nos valores de TDH real. A presença de curtos-circuitos hidráulicos foi verificada pela relação entre o tempo do primeiro aparecimento do traçador no efluente e o TDH teórico de acordo com [7] e [8], já a eficiência hidráulica foi calculada de acordo com [9].

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Comportamento Hidrodinâmico

A partir dos dados experimentais obtidos foi possível plotar curvas de distribuição da concentração do traçador ao longo do tempo, conforme visualizado na Fig. 3.

Pelas curvas experimentais, apresentadas na Fig. 3, é possível observar um adiantamento na concentração dos traçados nas primeiras horas dos respectivos ensaios, além da formação de picos de concentração de eosina Y ao longo do tempo, especialmente nos ensaios 1 e 2 do R2. Situação análoga foi observada por [10] ao avaliar o comportamento hidrodinâmico de reatores anaeróbio-aeróbio de leito fixo, operados com TDH de 18 h e 12 h. A autora atribuiu tal adiantamento a possível presença de caminhos preferenciais.

As curvas experimentais indicam a lenta liberação do traçador, caracterizando o efeito de cauda longa. Este efeito pode ser atribuído a adsorção do traçador nos diferentes materiais suportes utilizados, contribuindo para o atraso no TDH.



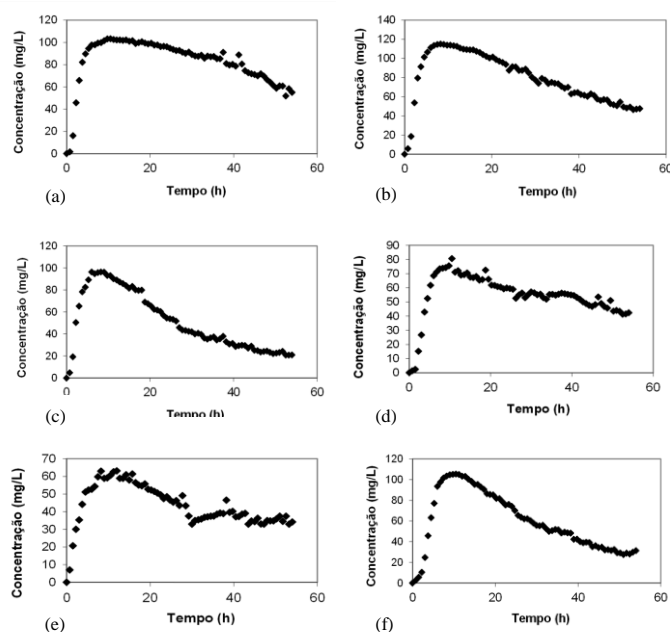


Fig. 3. Curvas de variação da concentração do traçador ao longo do tempo: (a) ensaio 1 do R1; (b) ensaio 2 do R1; (c) ensaio 3 do R1; (d) ensaio 1 do R2; (e) ensaio 2 do R2; (f) ensaio 3 do R2.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos com o ajuste das curvas de distribuição do tempo de residência (DTR) pelos modelos matemáticos teóricos.

TABELA 2. RESULTADOS DO AJUSTE DOS DADOS EXPERIMENTAIS AOS MODELOS UNIPARAMÉTRICOS.

Reator	Ensaio	TDH Real (H)	N-CSTR (N)	Pequena Dispersão (D/ $\mu$ L)	Grande Dispersão (D/ $\mu$ L)
R1	1	26,3	3	0,151	0,483
	2	24,4	3	0,173	0,584
	3	21,2	2	0,211	0,777
R2	1	26,6	3	0,150	0,481
	2	25,4	3	0,172	0,580
	3	23,2	3	0,170	0,572

O valor médio do número de dispersão (D/ $\mu$ L) obtido para o modelo de pequena dispersão foi de 0,178, enquanto para o modelo de grande dispersão foi de 0,615 para R1 e para R2 foi de 0,164 e 0,544, respectivamente. [4] afirma que, quando os valores de D/ $\mu$ L tendem ao infinito, é um indicativo de que o sistema se comporta como fluxo de mistura completa, enquanto quando D/ $\mu$ L tende a zero é um indicativo de que o sistema se comporta como modelo pistonado. Valores de D/ $\mu$ L na faixa de 0 – 0,002 indicam dispersão de pequena intensidade, D/ $\mu$ L na faixa de 0,002 – 0,025 indica dispersão de grau intermediário, enquanto D/ $\mu$ L na faixa de 0,025 – 0,200 indica grau de dispersão de grande intensidade.

No terceiro ensaio de R1, verificou-se que o número de tanques em série diminuiu de 3 para 2, com o aumento do número de dispersão de grande intensidade. Para R2, o modelo N-CSTR resultou em 3 tanques nos três ensaios realizados.

Segundo [11], quando o volume total é distribuído em uma única célula, o sistema se comporta como mistura completa, ao passo que, quando o volume é distribuído em infinitos tanques, há uma maior tendência ao fluxo em pistão.

Para [12], os sistemas que possuem aeração ou recirculação fazem com que a tendência seja para o modelo de mistura completa. [13] constatou esta situação em um reator combinado, ao analisar seu comportamento hidrodinâmico, utilizando eosina Y como traçador. A autora observou que o coeficiente de correlação para o modelo N-CSTR foi maior quando operado com aeração e com aeração e recirculação do que quando operado somente na condição anaeróbia.

As curvas de distribuição do tempo de residência (DTR) em função do tempo adimensional obtidas com o ajuste dos dados experimentais estão apresentadas na Fig. 4.

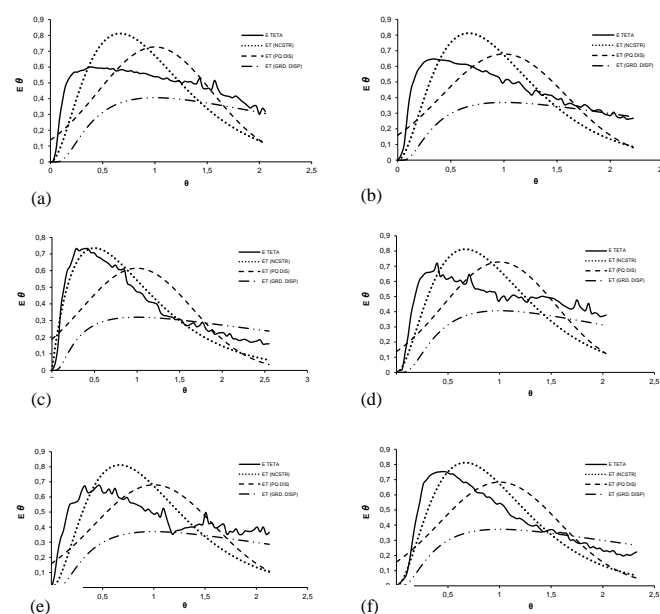


Fig. 4. Curvas experimentais de distribuição do tempo de residência (DTR) obtidas com o ajuste de modelos teóricos uniparamétricos: (a) ensaio 1 do R1; (b) ensaio 2 do R1; (c) ensaio 3 do R1; (d) ensaio 1 do R2; (e) ensaio 2 do R2; (f) ensaio 3 do R2.

Observou-se que o TDH real foi maior que o teórico em todos os ensaios hidrodinâmicos realizados, tanto para R1 quanto para R2, apresentando atraso médio de 33,3% e 39,4%, respectivamente. [14] sugerem que a existência de zonas mortas pode provocar atraso na resposta do traçador na saída do efluente, uma vez que este pode se difundir nestas zonas e ser liberado aos poucos, resultando em TDH real superior ao TDH teórico atribuído.

Na referência [5], os autores ao avaliarem o comportamento hidrodinâmico de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado continuamente com esgoto doméstico, observaram que o atraso na resposta do traçador nos  $\theta$  avaliados ocorreu devido a existência de zonas mortas no interior do reator, além de uma possível adsorção do traçador na biomassa.

Os coeficientes de correlação ( $r^2$ ), obtidos com ajuste dos dados experimentais aos modelos teóricos uniparamétricos, são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ( $R^2$ ) OBTIDOS COM AJUSTE DOS DADOS EXPERIMENTAIS AOS MODELOS UNIPARAMÉTRICOS.

Reator	Ensaio	Coeficiente de Correlação ( $r^2$ )		
		N-CSTR (N)	Pequena Dispersão ( $D\mu/L$ )	Grande Dispersão ( $D\mu/L$ )
R1	1	0,8149	0,6435	0,4680
	2	0,8499	0,6008	0,2611
	3	0,9708	0,6227	0,1434
R2	1	0,7431	0,4767	0,4508
	2	0,7729	0,4147	0,2614
	3	0,9152	0,6520	0,3530

Ao avaliar um RCAALF utilizando azul de bromofenol, [4] verificou com base na análise das curvas de DTR e coeficientes de correlação, que o comportamento hidrodinâmico do reator tende ao fluxo de mistura completa quando operado nos  $\theta$  de 22h, 16h e 10h, com  $r^2$  para N-CSTR variando de 0,911 a 0,980.

O R1 apresentou valores médios de coeficiente de correlação ( $r^2$ ) de 0,8785 para o N-CSTR, 0,6224 para o modelo de pequena dispersão e 0,2908 para o de grande dispersão. Quanto ao R2, os resultados médios foram de 0,8104, 0,5145 e 0,3551 para N-CSTR, pequena dispersão e grande dispersão, respectivamente. Portanto, observa-se que o modelo matemático de tanques de mistura completa em série (N-CSTR) apresentou os melhores ajustes dos dados experimentais para os ensaios realizados em R1 e R2.

#### B. Características hidráulicas

A partir dos ensaios hidrodinâmicos, foi verificada a presença de curtos-circuitos hidráulicos, bem como foi calculado o volume de zonas mortas e eficiência hidráulica de R1 e R2 operados no TDH de 18 h (Tabela 4).

Para [7], a presença de curtos-circuitos hidráulicos é verificada quando o valor de  $\Psi$  é igual ou menor que 0,3. Tendo em vista os resultados obtidos, não há presença deste tipo de desvio de idealidade, pois todos os ensaios resultaram em valores superiores a 0,4.

Os resultados indicaram que não há presença de zonas mortas no interior dos reatores R1 e R2, cujos valores negativos igualmente foram reportados por [6] que atribui aos valores negativos ausência de zonas mortas. A lenta liberação do traçador, caracterizando o efeito de cauda longa, pode ser atribuída a adsorção do traçador no material suporte utilizado para imobilização da biomassa.

TABELA 4. RESULTADOS DOS DESVIOS DE IDEALIDADE E EFICIÊNCIA HIDRÁULICA DE R1 E R2

Reator	Ensaio	TDH real (h)	Curto-circuito hidráulico ( $\Psi$ )	Zonas Mortas (L)	Eficiência Hidráulica ( $\lambda$ )
R1	1	26,3	0,4	-3,00	0,7
	2	24,4	0,4	-2,31	0,7
	3	21,2	0,4	-1,16	0,5
R2	1	26,6	0,4	-3,11	0,7
	2	25,4	0,5	-2,67	0,7
	3	23,2	0,5	-1,88	0,7

A eficiência hidráulica pode ser categorizada em três grupos: (i) boa eficiência hidráulica quando  $\lambda > 0,75$ ; (ii) Eficiência hidráulica satisfatória quando  $0,5 < \lambda \leq 0,75$  e (iii) baixa Eficiência hidráulica onde  $\lambda \geq 0,5$  [9]. Todos os ensaios obtiveram valores iguais a 0,7, com exceção do ensaio 3, de R1 que apresentou  $\lambda$  igual a 0,5, indicando que o sistema combinado anaeróbio-aeróbio operou com satisfatória eficiência hidráulica.

#### IV. CONCLUSÃO

Pelos resultados médios, verificou-se atraso de 33,3% do TDH real para o teórico para o R1 e de 39,4% para R2, em relação ao TDH teórico (18 h), o que pode indicar a existência de caminhos preferenciais.

No que se refere ao comportamento hidrodinâmico, verificou-se que o padrão de mistura dos dois reatores apresentou maior tendência ao fluxo de mistura completa, com número de tanques em série igual a 3 para todos os ensaios, com exceção do ensaio 3 de R1, que foi de 2 tanques em série.

Não foram verificados curtos-circuitos hidráulicos, nem presença de zonas mortas em nenhum dos reatores. Quanto a eficiência hidráulica, constatou-se que os sistemas apresentam eficiência satisfatória.

#### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a UTFPR pelo aporte financeiro no desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C.A.L. Chernicharo "Post-treatment options for the anaerobic treatment of domestic wastewater reviews." Environmental Science and Bio/Technology, vol. 5, 2006, pp. 73-92.
- [2] M. M. Araujo Junior, "Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para remoção de matéria orgânica e nitrogênio de água residuária de indústria de lisina." 2006. 160 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2006.
- [3] R. N. Siqueira; V. Reisen; E. C. Teixeira. "Avaliação de diversos indicadores de eficiência hidráulica como ferramenta para a análise do desempenho de UTAR". In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

- [4] O. Levenspiel. “Engenharia das Reações Químicas.” 3 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher Ltda, 2000.
- [5] K. Q. Carvalho; M. T. Salgado; F. H. Passig; E. C. Pires. (2008). “Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão”. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, Vol. 13, 2008, pp. 226-235.
- [6] M. R. Peña; D. D. Mara; G. P. Avella. “Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates”. Water Research, Vol. 40, 2006, pp. 445 – 452.
- [7] E. L. Thackston; Jr. F. D. Shields; P. R. Schroeder. “Residence time distributions of shallow basins”. Journal of Environmental Engineering, Vol. 6, 1987, pp. 1319–1332.
- [8] Y. Sarathai; T. Koottatep; A. Morel. “Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system”. Journal of Environmental Sciences (China), vol. 9, 2010, pp. 1319-1326.
- [9] J. Persson; N. L. G. Gomes; T. H. F. Wong. “Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds”. Water Science and Technology, vol. 40, 1999, pp. 291–300.
- [10] C. M. Rodrigues. “Análise de parâmetros hidrodinâmicos de reator anaeróbio de leito fixo com biomassa imobilizada”. 2015. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.
- [11] M. Von Sperling. “Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias”. Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
- [12] A. P. de Oliveira Netto. “Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário”. 2007. 207 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2007.
- [13] C. Kreutz. “Comportamento de reator anaeróbio-aeróbio no tratamento de efluente bovino”. 2012. 116 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.
- [14] F. H. Passig; C.E. Blundi. “Caracterização hidrodinâmica de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente. Engenharia e Arquitetura”. Escola de Engenharia de São Carlos, Vol. 1, 1999, pp. 1-6.



# Avaliação da concentração de metais pesados em sedimentos de rios da bacia hidrográfica rio do Campo, município de Campo Mourão, Paraná – Brasil

Jefferson de Queiroz Crispim  
Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná  
Campo Mourão, Paraná Brasil

Cristiane Kreutz  
Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Ana Paula Colavite  
Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná  
Campo Mourão, Paraná Brasil

Márcia Aparecida de Oliveira  
Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Ederson Vecchietti Goncalves  
Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Leticia Scala Francica  
Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

José Antonio da Rocha  
Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná  
Campo Mourão, Paraná Brasil

**Resumo**—O presente estudo avaliou as características físico-químicas e concentração de metais pesados em três rios afluentes da bacia hidrográfica Rio do Campo, localizada no município de Campo Mourão, Paraná, Brasil. Foram definidos oito pontos amostrais, distribuídos nos três rios analisados e determinado os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, Sólidos Totais, oxigênio dissolvido, Condutividade Elétrica, Turbidez e Temperatura, além de traços de metais pesados: cádmio, chumbo e alumínio. Os rios do Campo, Km 119 e Km 123 apresentaram vazões médias de  $2,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Os resultados médios indicam que o rio do Campo apresenta valores de chumbo e alumínio superiores ao definido pela legislação vigente, bem como o menor pH (5,8) e menor concentração de oxigênio dissolvido se comparado com os demais rios, o que corrobora com a condição de comprometimento da qualidade ambiental do curso d'água, influenciado pelas ações antrópicas. Desta forma, faz-se necessário a identificação e origem destes materiais, bem como mapear as áreas de sua procedência.

**Palavras-chave**— *ação antrópica; água superficial; alumínio; contaminação; chumbo*

## I. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos têm sua qualidade comprometida na razão direta do maior desenvolvimento da sociedade e o crescimento da população, o consumismo e a poluição resultante das atividades humanas tem gerado uma grande pressão sobre os recursos hídricos.

Com a importância da água na sociedade moderna, os estudos sobre os recursos hídricos foram fortalecidos nas últimas três décadas e com isso, ocorreu a eleição da Bacia Hidrográfica como unidade territorial, proporcionando estudos de planejamento ambiental, legislação ambiental, gestão dos recursos hídricos, gestão da paisagem, entre outros.

As bacias hidrográficas têm sido adotadas como unidades físicas de reconhecimento, como forma de facilitar a abordagem sobre os recursos hídricos e pode-se considerar que sofrem transformações de ordem natural e antrópica com interferência direta e indireta em seu funcionamento.

Para a referência [1], nos últimos anos, o homem tem participado como agente acelerador dos processos de desequilíbrios da paisagem, principalmente pelas atividades do setor produtivo e das ações humanas diretamente desenvolvidas nas bacias hidrográficas.

O autor da referência [2] aponta que a adoção do conceito de bacia hidrográfica como unidade de gestão territorial estendeu as barreiras políticas tradicionais entre municípios, estados e países para uma unidade física de gerenciamento, planejamento e desenvolvimento econômico e social.

O crescimento demográfico e industrial nas últimas décadas comprometeu os corpos hídricos que muitas vezes são receptores de passivos advindos da atividade humana. A contaminação das águas é gerada por efluentes domésticos, industriais e a carga difusa urbana e agrícola que podem ser transportadas por longas distâncias e muitas vezes depositadas nos sedimentos dependendo da sua densidade.

A investigação sobre a qualidade do sistema hídrico pode ser feita tomando como referência a análise da água ou do sedimento de fundo do corpo hídrico. Para [3] amostras de sedimentos podem indicar não apenas sua qualidade atual como também diferenças na sua composição ao longo do tempo.

O sedimento tem sido cada vez mais utilizado em estudos da avaliação da qualidade da água, por retratar condições históricas das influências de atividades antropogênicas sobre estes ambientes e nem sempre detectáveis por meio do uso de variáveis da água [4] (CETESB, 2006).

Dessa forma, o estudo sobre a qualidade da água em sedimentos na bacia hidrográfica Rio do Campo apresenta papel importante, pois o principal rio homônimo tem a função de abastecer 80% das residências da cidade Campo Mourão. Suas águas ainda são utilizadas na piscicultura, horticultura e principalmente na diluição de efluente de duas estações de tratamento de esgoto.

Nos últimos 20 anos vêm ocorrendo à intensificação na utilização do solo da bacia hidrográfica Rio do Campo, pois a base da economia do município de Campo Mourão está voltada para a agricultura e o cultivo é realizado próximo aos rios, com grande possibilidade de ocorrer o carreamento de metais pesados para os corpos hídricos.

Para a referência [5] a atividade agrícola se apresenta como fator contaminante dos recursos hídricos e na atualidade observamos uma grande variedade de agrotóxicos e fertilizantes que em contato com a água podem ser carreados para o corpo hídrico e causar a contaminação. Para [6], dos mais variados ambientes e paisagens terrestres, os rios urbanos são os mais utilizados, ocupados, modificados, degradados, subjugados e negados, onde em tese, são na maioria das vezes usufruídos sem planejamento e controle.

A expansão urbana desordenada aliada a falta de planejamento público, falta de fiscalização dos órgãos competentes e o desenvolvimento de atividades agrícolas e industriais fez com que o número de rios urbanos poluídos crescesse nos últimos anos e tornando-os um receptáculo de tudo o que é rejeitado pela sociedade [7].

Os rios da bacia hidrográfica Rio do Campo recebem ao longo de seus cursos, despejos clandestinos, efluentes de abatedouro de aves e esgoto de duas estações de tratamento de da cidade de Campo Mourão, além disso, situa-se a sua margem um Parque Industrial, representando alto risco de poluição, além de uma carga sedimentar proveniente da agricultura, localizada a montante da bacia hidrográfica.

Este artigo está baseado no levantamento de dados físico-químicos e traços de metais pesados em três rios da bacia, considerados rios urbanos, sendo eles: rio do Campo, rio Km 119 e Km 123.

Este trabalho apresenta resultados da concentração de metais pesados em rios da bacia hidrográfica Rio do Campo, manancial de abastecimento da cidade de Campo Mourão, Paraná-Brasil. A pesquisa, iniciada no primeiro trimestre de 2017, é desenvolvida em parceria entre a Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Saubern Hospitalar, uma empresa do município financia parte do projeto.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio do Campo está situada no município de Campo Mourão, terceiro planalto paranaense, na porção média entre os rios Ivaí e Piquiri [8], com uma população estimada em 91.648 habitantes [9]. A Bacia Hidrográfica apresenta orientação sudoeste – nordeste, fazendo parte da Bacia Hidrográfica do Rio Mourão que, por sua vez, faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Ivaí [10].

A Bacia ocupa 161 Km<sup>2</sup> do município de Campo Mourão (Fig. 1), com declividade média de 6,495%, relevo predominantemente suave ondulado a ondulado, representando 41% da área da bacia, 35% da área de drenagem corresponde ao relevo plano a suave ondulada, 16% correspondem à classe de relevo plano, restrito aos topos dos interflúvios e no talvegue do canal principal do Rio do Campo e 8% da área correspondem à classe Ondulada a Forte Ondulada e Ondulado a Montanhoso [11].

Na área ocupada pela bacia, os solos são originários de rochas básicas de origem vulcânicas e ocorrência de arenito nas cabeceiras (montante). O clima dessa região, conforme a classificação climática de Koeppen, é do tipo subtropical úmido, o mês mais frio possui -3° C, úmido com chuva em todos os meses do ano, a temperatura média do mês mais quente de 22°C, características representadas pelas siglas Cfa. [8]. Os índices pluviométricos apresentam-se em média entre 1.400mm e 1.500mm por ano, tendo nos meses de verão as maiores concentrações de chuvas e nos meses de inverno menores.

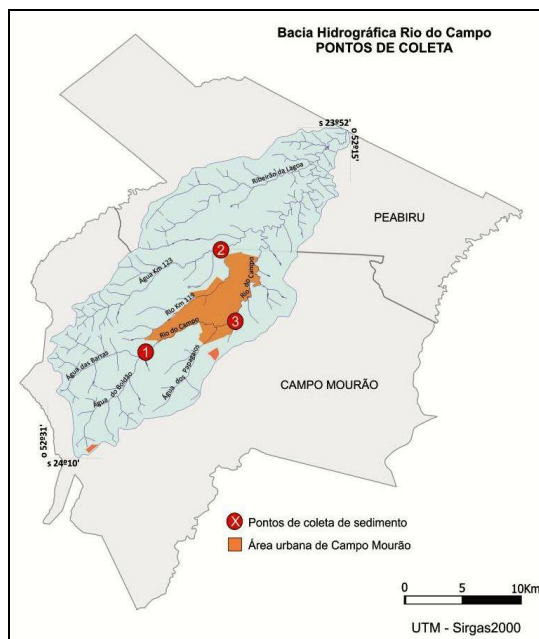


Fig. 1. Localização dos rios estudados dentro da bacia hidrográfica

### B. Determinação de parâmetros físico-químicos

A caracterização da qualidade da água foi realizada através de análises físico-químicas de amostras de água coletada em oito pontos, assim denominados e distribuídos: P1, P3 e P4 (Rio do Campo); P2, P5 (rio Km 119); P6 e P7 (rio Km 123) e P8 (encontro dos rios Km 119 com Km 123). Foram realizadas três coletas entre os meses fevereiro a abril de 2017, em períodos não chuvosos e pós-precipitação.

Os parâmetros: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, salinidade, turbidez e temperatura da água foram analisados *in loco* utilizando a sonda multiparamétrica YSI 6920 V2 (Fig. 2).



Fig. 2. Utilização da sonda multiparamétrica *in loco*

Amostras de sedimentos do leito dos rios, nos pontos P1, P4 e P7, foram coletadas com o auxílio do Coletor de Peterson (Fig. 3), para determinação da concentração de cádmio, chumbo e alumínio.



Fig. 3. Coletor de Peterson utilizado para coleta de sedimento de fundo

O material de fundo foi acondicionado em sacos plásticos na quantidade de 1 kg, devidamente identificados e encaminhados a um laboratório especializado em análise de solos, para quantificação de traços de metais pesados presentes na amostra, pelo método de espectrometria de absorção atômica.

Os resultados obtidos na avaliação dos parâmetros físico-químicos e na análise dos traços de metais pesados foram tratados utilizando-se estatística descritiva, posteriormente comparados às Resoluções N° 357/2005 e 430/2011 do Conselho do Meio Ambiente (CONAMA), que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes.

A determinação da vazão (Q) foi realizada por meio do método do objeto flutuador, o qual consiste na relação entre a profundidade, largura e tempo. Na determinação do material particulado em suspensão, foram filtrados 1000 ml de cada amostra, em papel de filtro, previamente calcinados a 450°C durante duas horas e pesados em balança analítica. Após a filtragem, os filtros foram secos em estufa a 100°C durante 24 horas antes de serem pesados para determinação da massa total do material em suspensão.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado dos parâmetros físico-químicos, referente aos três rios estudados, está apresentado na Tabela 1.

Com relação à vazão média, o rio do Campo apresentou maior valor, com média de  $2,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , o rio Km 119 com  $1,41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e o rio Km 123 apresentou  $0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Dentre os parâmetros físico-químicos analisados, a temperatura da água sofreu pouca alteração, com valores entre 21,7 a 23,8 °C, devido as coletas terem ocorrido entre o verão e outono no hemisfério sul. O oxigênio dissolvido (OD) variou de 2,6 a 7,5  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . O OD sofreu redução na última coleta devido a precipitação pluviométrica ocorrida no dia anterior, aumentando o aporte de material de origem alóctone ao rio, elevando a turbidez e sólidos totais. [12] afirmam que o oxigênio é utilizado como principal parâmetro de qualidade da água e serve para determinar o impacto de poluentes sobre os

corpos da água, uma vez que seu consumo é dado pela oxidação da matéria orgânica e sedimentos. Logo, quanto maior sua concentração melhor a qualidade da água.

TABELA 1. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS CORPOS HÍDRICOS ANALISADOS

M.A	Parâmetros	Rio do Campo	Rio Km 119	Rio Km 123	CONAMA 357/05
1	Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	2,60	1,27	-	-
	pH	6,3	7,2	7,7	6,0 a 9,0
	Sólidos Totais ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	-	-	-	-
	OD ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	7,35	7,17	6,57	>5
	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	21,6	28,5	45,0	<100
	Turbidez (NTU)	15,1	15,0	12,1	<100
	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	21,8	22,8	23,2	-
2	Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	2,90	1,55	0,35	-
	Sólidos Totais ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	20,0	11,0	42,0	-
	pH	6,0	6,5	6,3	6,0 a 9,0
	OD ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	7,5	7,73	7,28	>5
	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	23,0	36,5	45,5	<100
	Turbidez (NTU)	12,0	12,2	10,1	<100
	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,8	23,8	21,7	-
3	Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	-	1,42	0,45	-
	Sólidos Totais ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	525,3	163,0	185,0	-
	pH	7,7	7,8	7,8	6,0 a 9,0
	OD ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	2,60	3,86	5,53	>5
	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	19,3	25,5	13,75	<100
	Turbidez (NTU)	1.095	35,3	42,4	<100
	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	22,3	22,7	21,8	-

Legenda: M.A (mês de amostragem)

As restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais de acordo com a Resolução Nº. 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA. Os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 a 9. Durante os três meses de monitoramento, os valores de pH nos rios do Campo, rio Km 119 e Km 123 variaram de 6,0 a 7,8, enquadrando-se aos padrões da resolução CONAMA 357/05.

A condutividade elétrica representa o número de íons em solução presente no corpo hídrico, ou seja, quanto maior a concentração de íons, maior será a condutividade. De acordo com a [13] considera como indicativo de ambiente impactado níveis de condutividade superiores a  $100 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . O resultado da avaliação dos três rios indica que os valores atendem as normas ambientais vigentes, mas deve-se observar a elevação na condutividade para o rio Km 123 que além da agricultura que o margeia, existe as margens de seu médio curso, instalado um abatedouro de grande porte, uma vez que em geral, considera-se que quanto mais poluídas estiverem as águas, maior será a condutividade em função do aumento do conteúdo mineral.

O teor de sólidos totais, variou de 11,0 a 525,5  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Esta variação pode ser atribuída tanto a processos naturais, como também a erosão causada pelo desmatamento das margens e/ou pelo uso inadequado do solo agrícola. A turbidez apresentou variação média de 10,1 a 1095,0 NTU. A turbidez de uma água

indica o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas como areia, silte, argila [14].

Os resultados deste estudo indicam que os rios Km 119 e Km 123, apresentam-se dentro do limite estabelecido pela resolução CONAMA 357/05 no que se refere a turbidez, e no caso do rio do Campo, no último mês de coleta, os valores extrapolaram o limite máximo permitido. Este aumento pode estar associado a processos não-naturais, como despejo de efluentes e atividades agropecuárias e má conservação das estradas rurais, que contribuem para o carreamento de partículas ao corpo hídrico, em especial sob dias de precipitação.

A média para as concentrações de Chumbo (Cd), Cádmio (Pb) e Alumínio (Al) das amostras de sedimentos dos rios do Campo e Km 123 são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DOS CORPOS HÍDRICOS ANALISADOS

M.A	Metais ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	Rio do Campo	Rio Km 123	CONAMA 344/04 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
1	Cd	<1,00	<1,00	0,001
	Pb	6,23	3,39	0,01
	Al	20,85	23,64	0,1
2	Cd	<1,00	<1,00	0,001
	Pb	5,31	2,84	0,01
	Al	21,28	13,2	0,1
3	Cd	<1,00	<1,00	0,001
	Pb	9,51	2,56	0,01
	Al	37,7	5,49	0,1

Legenda: M.A (mês de amostragem)

Baseados nos dados encontrados, calculou-se a média de ocorrência em  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  dos metais pesquisados, além dos valores máximos permissíveis (VMP) descritos na resolução 344/2004 do CONAMA.

O rio 119 não foi incluído na Tabela 2 devido a dificuldades para coleta de materiais para análise, pois na área de estudo o rio encontra-se sobre seu nível de base e o gradiente do canal proporciona a retirada de material de fundo nos pontos selecionados para pesquisa.

Os metais pesados podem estar presentes nos solos, sedimentos e águas, oriundo do intemperismo físico-químico de rochas e transportados por meio da erosão e das atividades humana. Os valores encontrados foram comparados com a Resolução do CONAMA nº 344, de 25 de março de 2004, que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material coletado em sedimentos de fundo.

Em relação ao Cádmio, os resultados apontaram que os valores, para os sedimentos dos dois rios analisados, ficaram abaixo do limite de quantificação reportado pela Resolução do CONAMA nº 344, com médias inferiores a 1,0, respectivamente.



Na área de estudo, as concentrações de Chumbo apresentaram médias de  $7,0 \pm 2,2 \text{ mg.kg}^{-1}$  no rio do Campo e de  $2,9 \pm 0,4 \text{ mg.kg}^{-1}$  no rio Km 123. Essa variação, em especial ao rio do Campo, pode ser justificada pela forte influência da ação antrópica, uma vez que a concentração química dos elementos relaciona-se diretamente ao uso e ocupação dos solos pelo homem e reflete na qualidade de vida da população.

O alumínio foi o metal com maior concentração nos dois rios analisados, cujos valores médios foram de  $26,6 \pm 9,6 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $14,1 \pm 9,1 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o rio do Campo e Km 123, respectivamente, indicando que o rio do Campo sofre mais influência da ação antrópica do que o rio Km 123, uma vez que o primeiro é caracterizado como um rio urbano.

Em dados obtidos por [15] em pesquisa realizada nos anos de 2014/15, os autores analisaram traços de Chumbo e Cádmio em sedimentos do rio do Campo, obtendo dados médios acima de  $11 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o Chumbo e  $0,05 \text{ mg.kg}^{-1}$  para o Cádmio. Para os autores, as alterações nos parâmetros pesquisados estão associadas com o volume pluviométrico, na área de drenagem do Rio do Campo, pois a partir da análise das cartas de solo, de declividade e da rede de drenagem, na ocorrência de chuvas, ocorrem processos erosivos com entrada de sedimentos no corpo hídrico, ocasionando altos índices de turbidez, muitas vezes atingindo o índice de 3000 NTU.

#### IV. CONCLUSÕES

A concentração de metais em corpos hídricos é fortemente influenciada pela litologia da região, lixiviação natural de sistemas fluviais, tamanho e forma das bacias de drenagem, condições climáticas e prováveis ações antrópicas.

Quanto ao manejo do solo foi verificado que o sistema de plantio direto, prática adotada no final da década de 1980, é mantido pela maioria dos agricultores. Os terraços e curvas de nível atualmente não estão sendo mantidos em todas as propriedades que margeiam os rios da bacia, com a presença de vários pontos de erosão laminar e ravinas, provocando assoreamento em alguns pontos.

Os elementos chumbo e alumínio apresentaram valores superiores ao estabelecido pela legislação ambiental brasileira vigente.

Considerando os parâmetros pH e OD, nota-se que o rio do Campo sofre maior influência das atividades humanas, decorrentes do processo de urbanização, industrialização e uso e ocupação do solo, tendo em vista que o valor de pH não atende a faixa ideal (entre 6,0 a 9,0) fixada pela legislação e a concentração de OD foi inferior se comparada aos rios Km 119 e Km 123.

#### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a Empresa SAUBERN, Laboratório de Pesquisa Geoambiental (LAPEGE) da Universidade Estadual do Paraná – UNESPAR / Campus de Campo Mourão e ao Núcleo de Pesquisa em Engenharia Ambiental (NUPEA), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná / Campus Campo Mourão.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Rocha, Altemar A. Diagnóstico socioambiental de nascentes e mananciais em área urbana. João Pessoa: SEMILUSO, ed. Universitária/UFPB, 2006.
- [2] Tundisi, José Galizia. “Água no século XXI: enfrentando a escassez.” São Carlos, RIMA, 2003.
- [3] Shine, J.P., Ika, R.V. e Ford, T.E. Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metals contamination in New Bedford Harbor marine sediments. *Environmental Science Technology*. Vol.29, 1995, pp. 1781-1788.
- [4] Companhia de tecnologia de saneamento básico. CETESB. Água. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo, 2006.
- [5] Cerqueira, Erika do Carmo. Indicadores de sustentabilidade ambiental para a gestão de rios urbanos. Dissertação de mestrado. UFB. Salvador, 2008.
- [6] Almeida, Lutiane Queiroz de; Carvalho, Pompeu Figueiredo de. “A negação dos rios urbanos numa metrópole brasileira.” *Geo UERJ*. vol. 1, 2012, pp.114-135.
- [7] Silva, J. R. “Rios urbanos, microbacias e suas gentes.” *Revista VITAS – Visões Transdisciplinares sobre Ambiente e Sociedade*, 2015.
- [8] Maack, R. “Geografia física do Estado do Paraná.” 3ªed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.
- [9] IBGE. Estimativas populacionais do Brasil, grandes regiões, unidades da federação e municípios. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.
- [10] Colavite, A. P. “Cartografia aplicada à análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio do Campo - PR.” Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Planejamento e Gerenciamento Urbano e Rural) – Curso de Pós Graduação em Planejamento e Gerenciamento Urbano e Rural, Maringá, 2008.
- [11] Souza, A. “Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio do Campo no município de Campo Mourão – PR.” Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Geografia; Fecilcam. Campo Mourão, 2009.
- [12] Araújo, S. C. de S.; Salles, P. S. B. de A.; Saito, C. H. “Desenvolvimento tecnológico e metodológico para medição entre usuários e comitês de bacia hidrográfica.” Brasília: Departamento de Ecologia. Editora da UNB, 2004.
- [13] Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico – CETESB. Variáveis da qualidade da água. 2010. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/aguas-superficiais/109-variaveis-de-qualidade-das-aguas>>
- [14] Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico. CETESB. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas de amostragem. São Paulo, 2008.
- [15] Villwock, Fernando Henrique; Crispim, Jefferson de Queiroz. Levantamento de traços de metais pesados no rio do Campo, no município de Campo Mourão – Paraná. EAIC, UNESPAR. Campo Mourão, 2015.



## INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE EM UMA INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES

*Silvana Dalmutt Kruger*  
*Curso de Ciências Contábeis*  
*Universidade Comunitária da Região de Chapecó*  
*Chapecó – SC / Brasil*  
*silvanak@unochapeco.edu.br*

*Sady Mazzioni*  
*Mestrado em Ciências Contábeis e Administração*  
*Universidade Comunitária da Região de Chapecó*  
*Chapecó – SC / Brasil*  
*sady@unochapeco.edu.br*

*Diane Pazolini*  
*Curso de Ciências Contábeis*  
*Universidade Comunitária da Região de Chapecó*  
*Chapecó – SC / Brasil*  
*dianepazolini@unochapeco.edu.br*

*Antonio Zanin*  
*Mestrado em Ciências Contábeis e Administração*  
*Universidade Comunitária da Região de Chapecó*  
*Chapecó – SC / Brasil*  
*zanin@unochapeco.edu.br*

### Resumo

O objetivo do artigo é analisar os indicadores de sustentabilidade em uma indústria de fertilizantes, com base no modelo proposto pelo Instituto Ethos 2014. O estudo foi desenvolvido por meio de um *checklist* realizado na empresa, abrangendo os aspectos sociais, ambientais e econômico-financeiros a partir de visitas realizadas durante os meses de julho e agosto de 2016. A pesquisa caracteriza-se como descritiva, desenvolvida por meio de um estudo de caso e com análise qualitativa, avaliando-se as práticas sustentáveis da entidade em 2015. O modelo é composto de 47 indicadores de sustentabilidade, agregados em quatro dimensões: visão estratégica; governança/gestão; social e ambiental. Os resultados demonstram que a empresa está em conformidade com 72,34% dos indicadores, atende de forma parcial 8,51% e não atende em 14,87%. Em relação ao desempenho específico de cada dimensão, observou-se os seguintes níveis de conformidade: visão estratégica, 100%; governança/gestão, 68,75%; dimensão social, 91,18%; socioambiental, 72,73%. O estudo demonstrou a pertinência do uso dos indicadores de sustentabilidade propostos pelo Instituto Ethos para avaliar uma indústria de fertilizantes, permitindo a identificação de alternativas para reduzir os impactos ambientais e buscar o desenvolvimento de ações sociais de conscientização em prol da melhoria contínua de sua atuação sustentável.

**Palavras-chave:** *Indicadores de sustentabilidade. Indicadores Ethos. Relatório de sustentabilidade.*

### I INTRODUÇÃO

Atualmente, um conjunto de atos legais e normativos, além da expectativa das partes interessadas, exigem das empresas um comportamento de preocupação em prol da sustentabilidade, visando preservar os recursos naturais e contribuir com a sociedade em projetos que incentivam o bem-estar das pessoas, refletindo no seu desempenho econômico-financeiro[1].

Para atender tais demandas e enfrentar a concorrência de mercado, é preciso buscar produtos inovadores voltados à responsabilidade socioambiental, divulgando por meio de

relatórios seu compromisso com o futuro do planeta. Assim, a incorporação do conceito de sustentabilidade é um fator indispensável para o crescimento empresarial de longo prazo, sendo que as ações socioambientais contribuem para a perenidade das atividades organizacionais[2].

A análise gerencial das empresas em relação aos indicadores de sustentabilidade e no auxílio à tomada de decisão é praticada a partir das contribuições da contabilidade, indicando os caminhos para obtenção de lucros sustentáveis, sem degradar o meio ambiente[3]. A contabilidade possui artefatos que permite prestar contas para os governos, fornecedores, clientes, funcionários e comunidade em geral, das ações desenvolvidas e daquilo que necessita melhorar no desempenho social e econômico, considerando a responsabilidade socioambiental.

Elaborar e adotar ações que visam à responsabilidade socioambiental contribui para melhorar as práticas empresariais, criando projetos sociais para o bem-estar das pessoas por meio dos indicadores de sustentabilidade[4]. A contabilidade fornece informações aos usuários internos e externos, demonstrando os impactos que as empresas causam ao meio ambiente, possibilitando aos gestores encontrar soluções para minimizar ou eliminar as agressões provocadas no meio ambiente pelo processo de industrialização dos produtos, destacando as mudanças no aspecto econômico, social e ambiental[1].

As empresas necessitam estar atentas às mudanças cotidianas, às exigências de consumidores e do governo para organizações socialmente responsáveis, que saibam inovar sem agredir o meio ambiente, fornecendo produtos com qualidade e levando em conta as obrigações necessárias para o bom funcionamento da empresa, respeitando o meio ambiente e a comunidade[4].

A importância da preocupação que as empresas devem ter para atender a responsabilidade socioambiental está relacionada com o aumento da competitividade conduzido pela globalização. A permanência no mercado também está atrelada aos investimentos em ações sociais e ambientais, demonstrados pelo desempenho nos indicadores de sustentabilidade e no desempenho econômico-financeiro por

meio do conjunto de ações de responsabilidade socioambiental[5]. A empresa considerada socialmente responsável contribui com ações que visam o bem-estar social e o controle dos impactos ao meio ambiente, preocupando-se também com a conduta ética com os públicos de interesse. Essas práticas não estão relacionadas somente com a responsabilidade socioambiental em si, mas com um conjunto de medidas relacionadas com as atividades da empresa e seus públicos de interesse que visam atingir a sustentabilidade[3].

A verificação das práticas de responsabilidade socioambiental de cada empresa pode ser realizada a partir dos relatórios específicos, a exemplo do modelo proposto pelo Instituto Ethos. O relatório oferece contribuições para a transparência das organizações e o adequado desempenho social, ambiental e econômico-financeiro.

Neste contexto, a pesquisa procura responder a seguinte problemática: Qual o nível de sustentabilidade de uma indústria de fertilizantes a partir dos indicadores do modelo Ethos de sustentabilidade? O objetivo do estudo é analisar o nível de sustentabilidade de uma indústria de fertilizantes a partir do modelo Ethos de sustentabilidade.

Justifica-se a relevância do estudo a partir da necessidade e da importância da avaliação das práticas empresariais, considerando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. Para além do atendimento das exigências da legais, demonstrar à sociedade as práticas socioambientais e o desempenho sustentável das atividades empresariais, contribuindo para um modelo de gestão e instrumento de apoio ao processo decisório. A relevância está em permitir discussões acerca da utilidade dos indicadores de sustentabilidade como fator importante para a gestão sustentável das empresas.

## II REVISÃO DA LITERATURA

Ao longo do tempo, criou-se a percepção da necessidade das empresas e dos governos em cuidar do meio ambiente, para não correr o risco da inexistência de matéria-prima para o desenvolvimento de suas atividades e de evitar danos ambientais irreversíveis[4]. A sustentabilidade envolve a consideração de aspectos (i) econômicos, com a criação de empreendimentos viáveis, atraentes para os investidores; (ii) ambientais, com o objetivo de analisar a interação dos processos com o meio ambiente, sem prejudicá-lo; (iii) sociais, que se preocupa com a implantação de ações justas para colaboradores, parceiros e a sociedade. Esses três pilares formam o conceito de viável economicamente, justo socialmente e correto ambientalmente, que no conjunto formam o conceito da sustentabilidade[6][7][8].

A preocupação das empresas e demais organismos com a sustentabilidade tem sua importância percebida ao procurar maneiras de melhorar as práticas empresariais e de reduzir os impactos socioambientais, suprimindo com as necessidades humanas sem agredir o meio ambiente. Portanto, uma empresa sustentável está sempre aprimorando suas ações e tomando medidas necessárias que contribuem para o bem-estar de todos[2].

O tripé da sustentabilidade passou a ser um fator relevante para as organizações, provocando melhorias nas práticas sociais, ambientais e econômico-financeiras, impondo penalidades no descumprimento dos atos normativos e legais de proteção[7][9]. A preocupação com a responsabilidade socioambiental é relevante ao proporcionar benefícios nos aspectos sociais, ambientais e econômicos.

Os indicadores de sustentabilidade contribuem para avaliar o desempenho das organizações, analisando se estão agindo com medidas de proteção do meio ambiente e da sociedade ou se apenas cumprem as exigências legais[10].

A partir do desempenho ambiental, é possível avaliar as práticas de gestão e procurar melhorias, promovendo projetos ou ações ambientais que visam reduzir ou até mesmo eliminar os impactos provocados pela empresa. Quanto aos aspectos sociais, é indispensável o bem-estar de todos, sendo que as instituições devem promover ações voltadas à educação, saúde, programas culturais entre outras atividades necessárias para melhoria do desempenho social, visando diminuir a discriminação e tornar o ambiente de trabalho mais ético[11]. Com base no desempenho econômico, a empresa deve ter transparência e ética em seus relatórios, fornecendo bens e serviços em prol da sociedade, preocupando-se primeiramente com a responsabilidade socioambiental e, em seguida, obter lucro sem agressões ao meio ambiente[10].

As práticas tanto sociais como ambientais, contribuem para o crescimento econômico-financeiro das empresas, pois auxiliam na tomada de decisão, diminuindo os custos e promovendo um marketing com base nas ações de responsabilidade socioambiental[12]. Porém, a grande parte das empresas não se preocupam com a responsabilidade ética e sustentável, a qual é refletida positivamente em sua imagem, promovendo o crescimento e o tão esperado sucesso em sua gestão, pois além de gerar segurança para a sociedade ao demonstrar preocupação com o bem estar social e não apenas o retorno financeiro, também dispõe na adoção de práticas ecologicamente corretas, contribuindo com o meio ambiente e formando uma organização mais justa[9][13].

Portanto, revisar e divulgar os relatórios de sustentabilidade é fundamental para a transparência dos lucros empresariais obtidos a quem interessar, além de ajudar a própria gestão da empresa no que se refere à responsabilidade socioambiental e os atos praticados pela mesma em relação ao tripé da sustentabilidade sem prejudicar a empresa e a comunidade em geral, podendo ser feita de várias maneiras, dependendo do tipo de relatório utilizado[12][10].

Os indicadores de sustentabilidade auxiliam os gestores no processo de tomada de decisão, além de promover ações sustentáveis para melhoria do desempenho empresarial, sendo instrumento de gestão e comunicação por destacar pontos positivos de melhoria, tanto na área social, ambiental e econômico-financeira, visando também diminuir os impactos socioambientais das atividades empresariais. Alguns modelos de evidenciação de indicadores de

sustentabilidade, a exemplo do Instituto Ethos, contribuem na análise da sustentabilidade[14][11].

O Instituto Ethos é uma organização não governamental brasileira que foi constituída para servir como um modelo de sustentabilidade entre as empresas e as necessidades sociais, visando proporcionar maior transparência na evidenciação das práticas sociais e ambientais das organizações. Foi criado por alguns investidores no ano de 1998, contendo um conjunto de 47 indicadores estruturados em quatro temas: Visão Estratégica (3); Governança e Gestão (16); Social (17); Ambiental (1)[15].

Apesar dos indicadores apresentarem diferenças em suas estruturas, principalmente os sociais, os modelos disponíveis destacam a importância da sua utilização, pois oferecem benefícios para as empresas que utilizam e aos diversos usuários das informações disponibilizadas.

Atualmente, muitas empresas não estão preocupadas com a sustentabilidade, ou com a adoção de práticas e ações desta natureza. Muitas organizações até possuem um sistema de gestão socioambiental, mas por preocupação com o atendimento à legislação e não com as práticas de sustentabilidade em si, o que é prejudicial para a gestão da própria organização. Apresentar e publicar o relatório de sustentabilidade é uma forma de prestar contas à sociedade em geral e divulgar suas práticas adotadas ao meio ambiente, contribuindo com melhorias contínuas em prol da sustentabilidade[7].

A gestão ambiental e suas práticas são importantes para auxiliar as empresas no processo decisório na forma de preservar os recursos naturais e não prejudicar o meio ambiente, além de minimizar os impactos ambientais causados pela mesma. Neste sentido, os relatórios de sustentabilidade são instrumentos de análise e apoio para os processos de melhorias visando o bom desempenho social, ambiental e econômico-financeiro das instituições, agregando valor no mundo competitivo. Com isso, nota-se a importância da utilização destes indicadores para que as empresas reflitam sobre suas práticas socioambientais e procurem maneiras de melhorá-las, criando projetos e ações sustentáveis sem agredir o meio ambiente[16].

### III PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Metodologicamente, a pesquisa caracteriza-se como descritiva com análise predominantemente qualitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso em uma indústria de fertilizantes do município de Guatambu, Santa Catarina (Brasil).

O estudo de caso foi desenvolvido com o objetivo de analisar os indicadores de sustentabilidade a partir do modelo Ethos, comparando os aspectos sociais, ambientais e econômico-financeiros da entidade que possui aproximadamente 65 colaboradores na unidade estudada (8 mulheres e 57 homens). A empresa atua na fabricação de adubos e fertilizantes, atendendo os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, além de exportar para o Paraguai. Possui quatro unidades fabris localizadas no estado de Santa Catarina e é gerida por quatro sócios.

Para a elaboração da pesquisa, utilizou-se como base o roteiro dos indicadores de sustentabilidade modelo Ethos[15], os quais foram aplicados na empresa por meio de um *checklist* relacionado ao tripé da sustentabilidade, a partir de visitas realizadas no intuito de coletar as informações acerca das práticas de responsabilidade socioambiental da entidade estudada no ano de 2015.

A coleta ocorreu durante os meses de julho e agosto de 2016. Em cada indicador utilizado considerou-se a seguinte escala de avaliação: 1- atende; 2 - não atende; 3 - atende parcialmente; 4 – neutro.

Os indicadores de sustentabilidade modelo Ethos aplicados na pesquisa, possuem quatro dimensões: (i) visão estratégica – 03 indicadores; (ii) governança e gestão – 16 indicadores; (iii) social - 17 indicadores; (iv) ambiental – 11 indicadores, totalizando 47 indicadores.

### IV. RESULTADOS

Nesta seção apresenta-se a análise dos dados coletados, a partir dos indicadores de sustentabilidade do modelo Ethos[15] e das práticas observadas na empresa de fabricação de adubos e fertilizantes.

Com base nestas condições, pode-se observar na Tabela 1 os aspectos relacionados às quatro dimensões analisadas a partir dos 47 indicadores do modelo Ethos.

**Tabela 1 – Indicadores obtidos pela indústria investigada**

DIMENSÕES	1 – Atende	2 – Não Atende	3 - Parcialmente	4 - Neutro	TOTAL
Visão Estratégica	03	-	-	-	03
Governança e Gestão	09	04	01	02	16
Social	15	01	01	-	17
Ambiental	07	02	02	-	11
<b>Total de indicadores</b>	<b>34</b>	<b>07</b>	<b>04</b>	<b>02</b>	<b>47</b>
<b>Nível de sustentabilidade</b>	<b>72,34%</b>	<b>14,89%</b>	<b>8,51%</b>	<b>4,26%</b>	<b>100%</b>

De acordo com a Tabela 1, nota-se que a empresa atende 72,34% do conjunto de indicadores que compõem as quatro dimensões do modelo proposto pelo instituto Ethos. Porém, não atende 14,89% dos indicadores e atende de forma parcial 8,51% dos indicadores. Os indicadores de governança e gestão e os indicadores ambientais são aqueles

que precisam melhorar o desempenho, mais acompanhamento e adequações. A empresa analisada deve desenvolver algo voltado aos aspectos sociais e ambientais, visando melhorar os indicadores e incentivar as pessoas, reduzindo os impactos causados no processo de fabricação e industrialização dos produtos.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos em cada dimensão considerada e seus respectivos indicadores. Em relação à dimensão de visão estratégica, é composta por três indicadores que avaliam a qualidade dos produtos e serviços oferecidos pela empresa, incorporando a sustentabilidade como um diferencial competitivo. Percebe-se que a empresa atende aos três indicadores, pois reutiliza materiais que seriam descartados no meio ambiente de forma inadequada, transformando-os em produto novo, que beneficia os agricultores na fertilidade do solo, reduzindo os impactos causados pela utilização de agrotóxicos.

A dimensão de governança e gestão, composta por dezesseis indicadores, possibilita que a empresa compare suas ações, informando e responsabilizando-se pelos impactos que produz na sociedade. Em se tratando de governança e conduta, a empresa atende apenas dois indicadores (código de conduta e o engajamento entre as partes interessadas), atende parcialmente o indicador de governança da organização e não atende a questão de compromissos voluntários e participação de iniciativas dos Relatórios de Sustentabilidade Empresarial (RSE), relatos de sustentabilidade e relatos integrados e a comunicação com a responsabilidade social.

Além disso, atende parcialmente a questão de relações com investidores e relatos financeiros, pois trata-se de uma

sociedade limitada e não tem obrigação com a divulgação de seus relatórios financeiros. No conjunto de práticas de operação e gestão, a empresa atende a maioria dos indicadores, mas ainda não possui um sistema de gestão integrado.

A dimensão social é composta por dezessete indicadores de direitos humanos, práticas do trabalho e questões relativas ao consumidor.

A dimensão tem o objetivo de orientar e conscientizar empregados, consumidores e a sociedade em geral da importância dos produtos sustentáveis, além de zelar pelos direitos humanos e pela qualidade de vida, principalmente nas práticas do trabalho no dia a dia.

Os percentuais encontrados na Tabela 2 correspondem a soma dos pesos das escalas do atendimento de cada indicador em relação ao total possível em cada dimensão do modelo Ethos aplicados na pesquisa, conforme indicado na Metodologia.

Na dimensão (i) visão estratégica a empresa somou 03 pontos, o total possível; na dimensão (ii) governança e gestão atingiu 9,5 de 14 indicadores e 2 não aplicavam a situação; na dimensão (iii) social obteve 15,5 pontos do total possível de 17 indicadores; e na dimensão (iv) ambiental apresentou 8 pontos do total de 11 indicadores.

**Tabela 2 – Indicadores Ethos de Sustentabilidade**

CONJUNTO DE INDICADORES	Escala		
1- Estratégias para a sustentabilidade	1	24- Relação com empregados (efetivos, terceirizados, temporários)	1
2 - Proposta de valor	1	25- Relações com sindicatos	1
3 - Modelo de negócios	1	26- Remuneração e benefícios	1
<b>Subtotal – dimensão de visão estratégica</b>	<b>100%</b>	27- Compromisso com o desenvolvimento profissional	1
4- Código de Conduta	1	28- Comportamento frente a demissões e aposentadoria	1
5- Governança da Organização	3	29- Saúde e segurança dos empregados	1
6- Compromissos voluntários e participação em iniciativas da RSE	2	30- Condições de trabalho, qualidade de vida e jornada de trabalho	1
7- Engajamento das partes interessadas	1	31- Relacionamento com o consumidor	1
8- Relações com investidores e relatórios financeiros	4	32- Impacto decorrente do uso de produtos ou serviços	1
9- Relatos de sustentabilidade e relatos integrados	2	33- Estratégia de comunicação responsável e educação para o consumo consciente	1
10- Responsabilidade Social	2	34- Gestão dos impactos da empresa na comunidade	3
11- Concorrência leal	1	35- Compromisso com o desenvolvimento da comunidade e gestão das ações sociais	2
12- Práticas anticorrupção	1	36- Apoio ao desenvolvimento de fornecedores	1
13- Contribuições campanhas políticas	1	<b>Subtotal – dimensão social</b>	<b>91,18%</b>
14-Envolvimentos no desenvolvimento de políticas públicas	1	37- Governança das ações relacionadas às mudanças climáticas	1
15- Gestão participativa	1	38- Adaptação às mudanças climáticas	1
16- Sistema de gestão integrado	2	39- Sistema de gestão ambiental	3
17-Sistemas de gestão de fornecedores	1	40- Prevenção da poluição	3
18- Mapeamento dos impactos da operação e gestão de riscos	1	41- Uso sustentável de recursos materiais	1
19-Gestão da RSE/Sustentabilidade	4	42- Uso sustentável de recursos: água	1
<b>Subtotal – dimensão de governança e gestão</b>	<b>67,86%</b>	43- Uso sustentável de recursos: energia	1
20- Monitoramento de impactos do negócio nos direitos humanos	1	44- Uso sustentável da biodiversidade e restauração dos habitats	1
21- Trabalho infantil na cadeia de suprimentos	1	45- Educação e conscientização ambientais	2
22- Trabalho forçado (ou análogo ao escravo) na cadeia de	1	46- Impactos do transporte, logística e distribuição	2
23- Promoção da diversidade e equidade	1	47- Logística reversa	1
		<b>Subtotal – dimensão ambiental</b>	<b>72,73%</b>

De modo geral, a empresa atendeu a maioria dos indicadores compostos pelas quatro dimensões do modelo Ethos de sustentabilidade: visão estratégica, governança e gestão, social e ambiental. Porém, não se preocupa muito com os impactos causados não só no meio ambiente, mas na

sociedade como um todo oriundos no processo de transformação e industrialização dos produtos. Além disso, a mesma não dispõe de ações e projetos sociais para conscientizar as pessoas da importância das práticas

socioambientais, sendo uma das principais necessidades a serem implementadas na entidade.

Assim, nota-se que por mais que a empresa dispõe de algum controle em relação a poluição, ainda precisa melhorar e buscar estratégias para diminuir seus impactos, além de conscientizar as pessoas da importância da sustentabilidade por meio de ações sociais que, contribuem para o crescimento e destaque empresarial, pois a partir de alguns métodos é possível usar os recursos naturais de forma inteligente, suprimindo com as necessidades das pessoas, sem prejudicar o meio ambiente e atrair olhares a produtos inovadores. Apesar da empresa adotar estratégias para controlar seus impactos, ainda não está preocupada em orientar as pessoas da importância de praticar ações sustentáveis, não realiza projetos sociais de conscientização que permitiriam contribuir com a qualidade de vida e a diminuição das desigualdades sociais.

Portanto, observa-se que a empresa atendeu todos os indicadores relacionados com os direitos humanos e as práticas do trabalho. Procura cumprir as exigências legais em relação aos aspectos trabalhistas e promove um ambiente saudável de trabalho aos colaboradores, atendendo parcialmente a gestão dos impactos da empresa na comunidade e não atendendo os compromissos com o desenvolvimento da comunidade e gestão de ações sociais, indicadores que compõem as questões do consumidor, fator relevante e indispensável para a organização.

A dimensão ambiental é composta por onze indicadores que demonstram as práticas relacionadas ao descarte de resíduos e os impactos de seus produtos no meio ambiente. Verificou-se que a empresa atende parcialmente o sistema de gestão ambiental e a prevenção da poluição. Contudo, não pratica a educação e conscientização ambiental, além de não possuir processos de avaliação dos impactos de transporte, logística e distribuição dos produtos e matérias primas.

Observa-se que os indicadores de sustentabilidade do modelo Ethos permitem analisar globalmente a empresa e mensuram a capacidade das entidades em relação ao conjunto de aspectos econômicos, sociais e ambientais, proporcionando uma visão das práticas atuais e as melhorias a serem concebidas a partir de ações e políticas sustentáveis.

De modo geral, a empresa atendeu a maioria dos indicadores compostos pelas quatro dimensões do modelo Ethos de sustentabilidade. Porém, carece de melhorias em relação aos impactos causados no meio ambiente e na sociedade, oriundos do processo de transformação e industrialização dos produtos. Além disso, não dispõe de ações e projetos sociais para conscientizar as pessoas da importância das práticas socioambientais.

Embora a empresa disponha de algum controle em relação à poluição, ainda precisa melhorar e buscar estratégias para diminuir seus impactos, além de conscientizar as pessoas da importância da sustentabilidade.

Adicionalmente, deve inserir ações que possibilitem o uso dos recursos naturais de forma inteligente, suprimindo as

necessidades das pessoas, sem prejudicar o meio ambiente e atrair olhares para produtos inovadores.

O estudo de caso mostrou a viabilidade do modelo utilizado para analisar as perspectivas sustentáveis de uma empresa industrial. Os resultados obtidos são coerentes com aqueles alcançados em outros estudos brasileiros, investigando a sustentabilidade de uma indústria de fertilizantes situada na cidade de Porto Nacional em Tocantins [17]; uma prestadora de serviços do setor termoquímica, localizada na região metropolitana de São Paulo[10]; e quatro empresas do segmento de adubos e fertilizantes[9].

A empresa analisada precisa se preocupar mais com ações sociais e ambientais, buscando meios para reduzir os impactos provocados no ambiente, oriundos do processo de transformação da matéria-prima em produto acabado, além de implementar a mensuração e evidência dos indicadores de sustentabilidade como instrumento de apoio à gestão e no processo de tomada de decisão.

#### V. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

A pesquisa desenvolvida teve por objetivo analisar o nível de sustentabilidade de uma indústria de fertilizantes a partir do modelo do Instituto Ethos de sustentabilidade, por meio de um conjunto de 47 indicadores foi possível analisar o nível sustentável da empresa nas três dimensões: social, ambiental e econômico-financeiro.

No estudo apresentado, pode-se analisar e verificar a situação da empresa, suas práticas e ações em relação aos 47 indicadores do Instituto Ethos observados, buscando conscientizar e demonstrar a importância dessas medidas para a gestão da empresa. Identificou-se, de um modo geral, que a entidade atende a maioria dos indicadores, atingindo um nível geral de 72,34%, deixando de atender 14,87% dos indicadores e atendendo de forma parcial 8,51% deles.

Na dimensão de visão estratégica, a empresa atinge 100% dos indicadores, porém na dimensão de governança/gestão, social e ambiental, atinge 68,75%, 91,18% e 72,73% respectivamente. Observa-se que a empresa precisa dar mais atenção à sua governança, pois falta um planejamento em relação à política interna, uma vez que não dispõe de relatórios e controles de desempenho sustentável, devendo rever suas práticas incrementando ações de melhorias, como preservar mais os recursos naturais, diminuindo a poluição causada na fabricação dos produtos, refletindo no seu desempenho econômico-financeiro, além de colocar em prática sua gestão de responsabilidade socioambiental para conscientizar as pessoas da importância da sustentabilidade, contribuindo também com o seu crescimento e principalmente com o futuro das próximas gerações, adequando-se as exigências propostas pelos indicadores analisados.

Dessa forma, pode-se destacar que deveria ser exigido mais das empresas em prol da sustentabilidade, além da necessidade de criar oportunidades e estratégias de comunicação para com a sociedade, priorizando a

transparência dos relatórios sustentáveis, para que os usuários possam avaliar e comparar o desempenho da empresa, buscando formas de melhorar sua situação e contribuir com a responsabilidade socioambiental.

Os resultados do estudo evidenciam a necessidade da preocupação das empresas para com a sustentabilidade, as quais devem atender e revisar suas práticas socioambientais, buscando conscientizar seus colaboradores e agregar melhores práticas sociais e ambientais, por meio de projetos e ações voltadas à responsabilidade corporativa, não apenas em relação às exigências da legislação, mas buscando atender as necessidades da região onde se insere, bem como nas atividades e produtos que desenvolve.

Por isso, recomenda-se que as empresas busquem aperfeiçoamento em relação às práticas de responsabilidade socioambiental, na análise de seus indicadores e relatórios, visando à redução dos impactos causados pelas atividades empresariais. Salienta-se também a importância de novas pesquisas e estudos nesta área, aprimorando o conhecimento e buscando estratégias para promover e desenvolver ações socioambientais em outras entidades, destacando-se as vantagens da utilização dos indicadores do Instituto Ethos como instrumento de apoio e avaliação da sustentabilidade organizacional.

## REFERÊNCIAS

- [1] Teotônio, A. N. A.; Estival, K. G. S.; Oliveira, L. B and Corrêa, S. R. S. “O papel da contabilidade na evidência da responsabilidade socioambiental”. Revista de Ciências Gerenciais, vol. 17, n. 26, pp. 71-86, 2015.
- [2] Gallon, A. V.; Souza, J. L.; Torres, L. S.; Costa, M. I. “Qualidade informacional dos relatórios de sustentabilidade de empresas premiadas por suas práticas de responsabilidade socioambiental: uma análise com base nos indicadores da ONU”. Revista Eletrônica em Sistemas & Gestão, vol. 7, n. 3, pp. 298-311, 2012.
- [3] Castro, A. L. and Brito Junior, M. G. “Marketing ambiental: o caso da Associação Comercial e Empresarial Alfa”. Revista de Administração e Negócios da Amazônia, vol. 7, n. 1, pp. 82-102, 2015.
- [4] Mafra, G. M.; Nascimento, M.; Casas, K. G and Nascimento, V. M. Avaliação da sustentabilidade ambiental: estudo de caso em um supermercado com aplicação do SICOGA. Revista Borges, vol. 2, n. 1, pp. 03-22, 2012.
- [5] Santos, R. A. D.; Paulo, F. R. D.; Ferreira, A. P. A.L.; Vincenzi, T. M. and Villai, T. “Gestão da inovação sustentável: um estudo de caso de uma empresa de fertilizantes biológicos”. Revista Gestão e Desenvolvimento em Contexto, vol. 2, n. 2, pp. 133-148, 2015
- [6] Oliveira, L. R., Medeiros, R. M., Terra, P. B., Quelhas, O. L. G. “Sustentabilidade: da evolução dos conceitos a implementação como estratégia nas organizações”. Produção, Niterói, vol. 22, n.1, pp. 70-82, 2012.
- [7] Pereira, M. S. “Meio ambiente de trabalho e os princípios do The Triple Botton Line”. Revista da Faculdade Mineira de Direito, vol. 17, n. 34, pp. 185-203, 2014.
- [8] Lugoboni, L. F.; Zittei, M. V. M.; Pereira, R. S.; Rodrigues, G. B. S. “Análise dos relatórios de sustentabilidade das indústrias de papel e celulose”. Revista Metropolitana de Sustentabilidade, vol. 3, n. 3, pp. 66-88, 2013.
- [9] Rodrigues, J. M.; Machado, D. G and Da Cruz, A. P. C. “Evidenciação de custos ambientais em empresas do segmento de adubos e fertilizantes”. Revista Contemporânea de Contabilidade, vol. 8, n. 15, pp. 63-86, 2011.
- [10] Sobreira, T. B., Galvão, R. A. and Souza, M. T. S. “Implementação de um programa de responsabilidade social empresarial: um estudo de caso de uma pequena empresa industrial”. Revista Metropolitana de Sustentabilidade, vol. 5, n. 1, pp. 39-59, 2015.
- [11] Oliveira, F. F.; Leite, R. C. M. “As práticas de responsabilidade social de empresas modelo em sustentabilidade”. Revista Ciências Administrativas, vol. 20, n. 1, pp.249-284, 2014.
- [12] Oswald, R.; Ferreira, E. “Responsabilidade Socioambiental no processo de adaptação estratégica da Cooperativa Aurora Alimentos no período de 2004 a 2010”. Revista Metropolitana de Sustentabilidade, vol. 3, n. 1, pp. 46-64, 2013.
- [13] Araújo, A. O.; Ramos, M. C. P. “Limitações dos relatórios de sustentabilidade para análises custo-benefício de ações sociais e ambientais”. Contextus - Revista Contemporânea de Economia e Gestão, vol. 13, n. 1, pp. 132-155, 2015.
- [14] Kneipp, J. M.; Vieira, K. M.; Filho, R. B.; Gomes, C. M. “Características determinantes no nível de divulgação de informação em relatórios de sustentabilidade de empresas brasileiras”. RACE-Revista de Administração, Contabilidade e Economia, vol. 12, n. 2, pp. 295-338, 2014.
- [15] INSTITUTO ETHOS, 2013. Indicadores Ethos de Responsabilidade Social Empresarial. Disponível em: < [http://www3.ethos.org.br/wp-content/uploads/2013/07/IndicadoresEthos\\_2013\\_PORT.pdf](http://www3.ethos.org.br/wp-content/uploads/2013/07/IndicadoresEthos_2013_PORT.pdf) > Acesso em: 21 out. 2015.
- [16] Alencar, J. L. S.; Simoni, J. H.; Fiorelli, M. N. and Neto, G. D. A. “Sistema de gestão ambiental e ISO 14000 na indústria têxtil - a sustentabilidade como tendência”. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, vol. 19, n. 2, pp. 575-586, 2015.
- [17] Paulo, R. L. “Estudo de caso envolvendo uma Indústria de Fertilizantes de Porto Nacional/TO”. Revista Sistemas and Gestão, vol. 10, n. 2, pp. 316-323, 2015.



# *Análise De Ciclo De Vida De Produção De Autoclaves Em Empresa De Biossegurança*

Thiago Augusto de Moraes

Discente do Programa de Pós-Graduação em Inovações  
Tecnológicas  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil  
thiago\_amorais@hotmail.com

Cristiane Kreutz

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Márcia Aparecida de Oliveira

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Vanessa Medeiros Corneli

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Artur Jorge de Jesus Gonçalves

Centro de Investigação da Montanha  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal

**Resumo**— A crescente conscientização ambiental tem feito com que as organizações procurem otimizar seus processos e minimizar seus efeitos adversos ao meio ambiente. Assim, houve o aparecimento de diversas ferramentas de gerenciamento em busca do desenvolvimento sustentável, dentre elas, destaca-se a ISO 14040, que visa quantificar os impactos ambientais durante o ciclo de vida de um produto. O presente trabalho analisou e aplicou os requisitos organizacionais da ferramenta de análise do ciclo de vida do produto (ACV), com base na norma EN ISO 14040:2006 para uma indústria de equipamentos biossegurança. Os resultados foram interpretados e quantificados os impactos para dois modelos de fronteira do sistema: do “portão ao portão” e do “berço ao berço”, com destaque para o potencial de aquecimento global, ocasionado pelas emissões atmosféricas indiretas, proveniente do uso de energia elétrica e da depleção dos recursos hídricos devido ao consumo de água. Os resultados apontaram que a utilização de energia elétrica e o consumo de água foram os indicadores mais danosos ao meio ambiente. Assim, foram sugeridas medidas mitigadoras como metas de redução de consumo.

**Palavras-chave**—gestão ambiental; Análise de ciclo de vida; ISO 14040; avaliação de impactos ambientais

## I. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização ambiental da população e das organizações está relacionada à degradação ambiental originada pela intensificação das atividades industriais nas últimas décadas. Esta condição tem levado as organizações a buscarem o entendimento e a otimização de seus processos, bem como a minimização de seus efeitos adversos sobre o meio ambiente. Portanto, a necessidade de adequação ambiental não é somente para atender a requisitos legais, mas também é resultado das exigências do mercado, que impõe

rígidas normas de controle ambiental às empresas que querem garantir sua sobrevivência.

Diante disso, surgem diversas ferramentas de gerenciamento em busca do desenvolvimento sustentável, dentre elas, destaca-se a ISO 14040, que visa quantificar os impactos ambientais durante o ciclo de vida de um produto [1].

O presente trabalho analisou e aplicou os requisitos organizacionais da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida do Produto (ACV), com base na norma EN ISO 14040:2006 para uma indústria de equipamentos biossegurança, a partir da quantificação dos fluxos de entrada e saída de matérias-primas referentes à produção de uma autoclave, em uma empresa de biossegurança de médio porte, localizada na região de Campo Mourão, Estado do Paraná, Brasil.

## II. METODOLOGIA

### A. Objeto de Pesquisa

A pesquisa visou a aplicação dos requisitos da norma EN ISO 14040:2006, de avaliação de ciclo de vida de uma autoclave produzida por uma empresa de biossegurança, localizada na região de Campo Mourão, Paraná, Brasil, que possui certificações nas normas ABNT NBR ISO 9001 e ABNT NBR ISO 14001, de forma que a mesma é ativa quanto à proteção do meio ambiente e minimização de impactos ambientais, principalmente quanto ao aspecto de geração de resíduos sólidos.

A empresa conta com um quadro de cerca de 100 funcionários distribuídos entre colaboradores, gerentes e alta administração, além de ser dividida em setores

administrativos, ferramentaria, produção e embalagem. Além de autoclaves, também são produzidas cubas plásticas, seladoras e embalagens, indicadores para testes de esterilização, mini incubadoras, destiladores, dentre outros. As autoclaves, foco principal de investigação neste trabalho, são produzidas em diferentes tamanhos e capacidade, medidas em litros, para atender principalmente o mercado odontológico e de estética.

#### B. Procedimento Metodológico

Foi definida, como escopo desta pesquisa, a autoclave modelo CD 12 Litros, considerada o principal produto do portfólio da empresa, e o objetivo, de acordo com a norma EN ISO 14040:2006, foi obter informações a respeito dos possíveis impactos ambientais do produto em questão, ao longo do seu ciclo de vida.

As fronteiras do sistema foram divididas em dois inquéritos. Em um primeiro momento, o estudo foi realizado abrangendo somente “do portão ao portão”, que são os impactos causados pelas atividades dentro da empresa. Já a segunda análise deu-se com base em um ciclo fechado, ou seja, “do berço ao berço” com a reintrodução de matéria-prima reaproveitada no processo produtivo. Alguns pressupostos foram assumidos, dentre eles, cita-se:

- A unidade de referência para o método utilizado é igual a uma unidade de autoclave produzida.
- As informações utilizadas neste trabalho foram obtidas preferencialmente de fontes primárias (questionários aplicados *in loco*) e fontes secundárias, a partir de dados provenientes da base de dados do *software Thinkstep GaBi®* para descrever etapas situadas a montante e jusante do processo.
- Os materiais componentes da autoclave foram resumidos em Aço, borracha e plástico, por apresentarem mais de 95% de sua composição.
- A quantificação do volume de água consumida e da quantidade de resíduos sólidos gerados foram calculados a partir da média ponderada do consumo e geração de toda a empresa, respectivamente, por unidades de autoclave produzida.
- A água utilizada é proveniente da rede pública de abastecimento e os dados de eletricidade são de acordo com a matriz energética brasileira.
- Em relação a análise de transporte, foram considerados caminhões-baú (leves) em estado seminovos, movidos a diesel e que percorrem em média 100km para distribuição dos equipamentos.

Em seguida, elaborou-se o Inventário de ciclo de vida (ICV), que é um processo iterativo e que envolve procedimentos de coleta de dados para quantificação dos fluxos de entradas e saídas na fase de produção do item estudado [2]. Portanto, a coleta de dados foi dividida em três etapas.

A primeira etapa foi constituída de visitas técnicas suficientes para familiarização do setor e processo produtivo. Já em relação a segunda etapa, aplicou-se o primeiro questionário referente aos processos produtivos, procedimentos, identificação de entradas e saídas, bem como a eficiência do processo, incluindo emissões atmosféricas, efluentes líquidos e outros aspectos ambientais [2]. A terceira etapa foi constituída da aplicação do segundo questionário, aplicado aos supervisores e responsáveis, que focou nos cálculos de custos dos processos, a fim de analisar as entradas e saídas dos produtos e subprodutos. Adicionalmente, observações diretas durante a coleta de dados e informações também foram utilizadas com o intuito de identificar o controle de insumos e matérias primas, bem como entrevistas com os responsáveis técnicos referentes ao processo produtivo foram realizadas. Por fim, efetuou-se a compilação de dados, para assim, concluir a pesquisa.

A fase de ICV foi realizada com o auxílio do *software Thinkstep GaBi®*, de forma que as informações quantitativas coletadas nas etapas anteriores serviram de entrada no programa computacional e o mesmo evidenciou resíduos, emissões e efluentes decorrentes de fases do ciclo de vida do produto que não puderam ser mensuradas *in loco*, por meio de um banco de dados proveniente de informações verificáveis e confiáveis, conforme metodologia adaptada de [3].

Já na fase de avaliação dos impactos ambientais, foram utilizadas as informações obtidas a partir do ICV para elaboração de matriz de aspectos e impactos ambientais de acordo com metodologias adaptadas de [4] e [5]. Os impactos foram analisados conforme os seguintes itens:

- Classe (C): Referente à natureza do impacto (positiva ou negativa).
- Severidade (S): De acordo com a magnitude do dano, podendo ser reversível em curto prazo, reversível em longo prazo e irreversível.
- Abrangência (A): Área impactada, pode ser representada por um setor, dentro ou fora da instituição.
- Frequência (F): Ocorrência do impacto, sendo contínua, moderada ou rara.
- Importância (I): Representa o grau de significância do impacto. É determinada pelo produto da classe, severidade, abrangência e frequência.
- Significância (S): definição do impacto como significativo ou não significativo.

De posse dos dados necessários, a interpretação do ciclo de vida do produto foi a fase final do procedimento de ACV e se deu conforme critérios da EN ISO 14040:2006. As informações obtidas foram reunidas e discutidas com apoio na literatura, considerando o objetivo e escopo estabelecidos.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## A. Cálculo de Dados

A quantificação dos impactos ambientais foi realizada por meio do uso do *software Thinkstep GaBi®*, em que os dados de entrada e saída foram utilizados de acordo com o levantamento realizado in loco, referentes a composição dos materiais da autoclave, que foi 15,4 kg de partes de metal (aço), 02 kg de partes de plástico, 01 kg de componentes de borracha. Essa composição foi simplificada por motivos didáticos e por que tais componentes representam mais de 95% da estrutura da autoclave que pesa 18,4 kg. Também foram consideradas como entradas: 10 KW de energia elétrica consumida por autoclave produzida, utilização de aproximadamente 1,14 kg de papelão que compõem a sua embalagem e 40,4 kg de água (a organização quantifica os líquidos por peso, a mesma medida dos sólidos, por questões de gestão e legislação), cujo valor refere-se ao total consumido em todos os setores por número de autoclaves produzidas.

Já os fluxos de saída foram adotados como a autoclave de 18,4 kg, 1,14 kg de resíduos sólidos e 40,4 kg de efluentes sanitários gerados. Adicionalmente foram computados: a utilização de caminhões-baú pequenos movidos a diesel, com média de 100 quilômetros, a fim de considerar o deslocamento para distribuição dos produtos finais.

Por meio do *software* foi possível quantificar os impactos ocasionados pela utilização da autoclave (uso de energia elétrica) considerando 10 anos de vida útil da mesma, para análise de um sistema aberto, ou seja, sem a utilização de materiais reciclados na cadeia de produção.

A título de comparação e sugestões de melhoria, também foram adicionadas ao programa computacional a disposição final do produto, considerando-se apenas o aço e sua reciclagem, e posterior utilização no início do processo produtivo, para análise do “berço ao berço” (ciclo fechado), o que resultou em impactos positivos no meio ambiente, conforme serão apresentados e discutidos no tópico de interpretação da ACV.

## B. Identificação e Avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais

A matriz de aspectos e impactos ambientais referente as atividades da organização em estudo está representada na Fig.1.

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS								
Atividade	Aspecto	Impacto	RESULTADOS					
			Classe	Severidade	Abrangência	Frequência	Importância	Significância
Usinagem	Geração de resíduos	Poluição do solo	3	2	3	1	18	NS
		Redução da vida útil do aterro sanitário	3	2	3	3	54	S
Produção		Proliferação de vetores	3	1	1	3	9	NS
		Poluição visual	3	1	1	1	3	NS
Atividades Administrativas	Consumo de água	Poluição de recursos hídricos	3	2	3	2	36	S
		Decréscimo da disponibilidade hídrica	3	2	3	3	54	S
Uso de Sanitários e cozinha	Consumo de energia elétrica	Decréscimo de recursos naturais disponíveis	3	2	3	3	54	S
		Desequilíbrio de ecossistemas	3	2	3	1	18	NS
		Ampliação de áreas alagadas para construção de hidrelétricas	3	2	3	1	18	NS

Fig. 1. Matriz de avaliação de aspectos e impactos ambientais.

O critério “Classe” foi enquadrado como negativo para todos os impactos ambientais identificados, pois nenhum deles acarretava benefícios ao meio ambiente.

A “Severidade”, que analisa a dimensão do dano causado, foi caracterizada como reversíveis apenas em longo prazo para os impactos considerados significativos, enquanto para os impactos não significativos. Para os impactos (i) desequilíbrio de ecossistemas e (ii) ampliação de áreas alagadas para construção de hidrelétricas a severidade foi classificada como reversível em longo prazo e para (iii) poluição visual e (iv) proliferação de vetores este critério foi classificado como reversível a longo prazo.

Em relação a “Abrangência” dos impactos ambientais, a maioria foi diagnosticada com nota máxima devido aos seus efeitos negativos poderem atingir geograficamente uma região fora da empresa. Os únicos impactos classificados com nota mínima foram a (i) poluição visual e a (ii) proliferação de vetores, pois a disposição de resíduos dentro do setor pode ocasionar tais efeitos apenas no local em que os resíduos são descartados.

A avaliação da “Frequência” em que os impactos ambientais ocorrem foi decisiva para a classificação de efeitos significativos e não significativos. Os impactos classificados com frequência máxima atingiram pontuação necessária para serem diagnosticados como impactos significativos, com exceção do impacto (i) proliferação de vetores. O impacto (i) poluição de recursos hídricos, enquadrado como significativo, foi classificado com frequência moderada, pois a disposição inadequada de resíduos sólidos ou efluentes ocasionais pode contaminar águas superficiais e subterrâneas.

O resultado da avaliação do critério “Importância” classificou os impactos com valores igual ou maior a 30 como impactos ‘significativos’, enquanto os inferiores foram considerados impactos ‘não significativos’.

Portanto, pela análise de significância, dos nove impactos ambientais identificados, cinco deles foram considerados ‘não significativos’: (i) poluição do solo; (ii) proliferação de vetores; (iii) poluição visual; (iv) desequilíbrio de ecossistemas e (v) ampliação de áreas alagadas para construção de hidrelétricas. Os outros quatro impactos foram considerados ‘significativos’, sendo eles: (i) redução da vida útil do aterro sanitário; (ii) poluição de recursos hídricos; (iii) decréscimo de disponibilidade hídrica e (iv) decréscimo de recursos naturais disponíveis.

## C. Interpretação da ACV

## 1) ACV para o processo do “Portão ao Portão”

Os impactos ambientais diretos e indiretos, resultantes da produção de um exemplar do produto analisado, foram

calculados com o auxílio do programa computacional e são apresentados a seguir, na Tabela 1.

Os efeitos negativos mais relevantes foram: geração de águas residuárias, que correspondem a 26264,3 toneladas e as emissões atmosféricas que totalizam 546 toneladas.

O expressivo valor referente às águas residuárias dá-se, principalmente, pelo volume de água considerado como essencial para a produção da autoclave, mesmo esta não sendo ligada diretamente a produção da autoclave, mas por considerar a água utilizada para o desempenho de outras funções na organização. Quanto às emissões atmosféricas são, principalmente, devido ao uso de energia elétrica, tanto na produção, quanto na fase de uso do equipamento.

TABELA 1 - IMPACTOS AMBIENTAIS POR AUTOCLAVE DO “PORTÃO AO PORTÃO”

Saídas	Kg
Materiais depositados	35500.0
Emissões atmosféricas	546000.0
Efluentes para águas doces	26200000.0
Efluentes para águas marinhas	64300.0
Resíduos em solo agrícola	0.0
Resíduos em solo industrial	0.023

Uma das informações importantes que o *software* apresenta é o Potencial de Aquecimento Global em relação a cada unidade de autoclave produzida, já que Créditos de Carbono podem até mesmo ser comercializados, no caso de uma redução de emissões. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que praticamente toda a emissão indireta de gases CO<sub>2</sub> equivalentes, material particulado, clorofluorocarbonetos (CFCs) de destruição da camada de ozônio, além dos impactos de eutrofização de águas e redução de recursos hídricos são relacionados ao uso de energia elétrica, tanto na fase de fabricação do produto como o uso de energia para o funcionamento do equipamento durante 10 anos de vida útil.

O potencial indireto de emissões atmosféricas, relacionado à produção de cada autoclave, pode ser visualizado na Fig. 2. Os dois fatores de consumo de energia elétrica combinados correspondem a 10,1 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, o que é praticamente 100% das emissões.

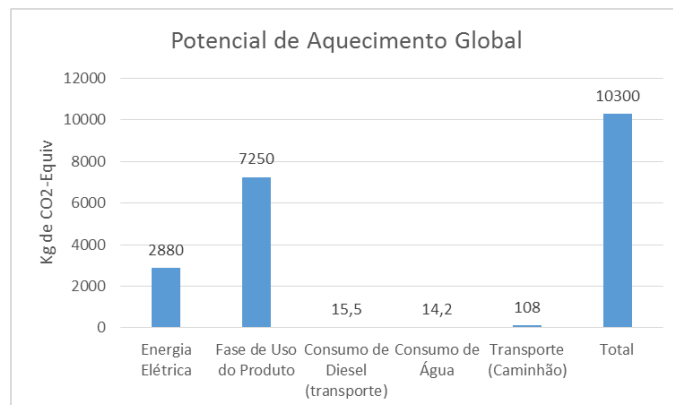


Fig. 2. Gráfico do potencial de aquecimento global.

A emissão de gases provenientes de atividades antrópicas também influencia na camada de ozônio, principalmente os óxidos de nitrogênio e os CFC. A destruição de ozônio favorece também o aquecimento global, além de expor animais e plantas a radiações UV, provenientes do sol e diminuir a eficiência de plantações. O chamado potencial de depleção da camada de ozônio resulta de um cálculo onde são fixados quantidades de gases CFC emitidos e apresentados em quilogramas R11 equivalente. No trabalho em questão foram obtidos 6,44E-07 kg R11 equivalente para o potencial destruidor, conforme representado pela Fig.3.

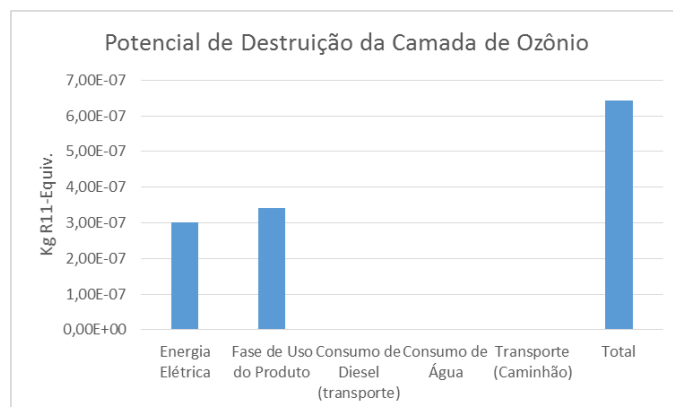


Fig. 3. Gráfico do potencial de destruição da camada de ozônio.

## 2) ACV para o processo do “Berço ao Berço”

Com a utilização de um ciclo de produção fechado, ou seja, onde o material principal, neste caso o aço, é reciclado e reintroduzido na cadeia produtiva, deixa-se de poluir o meio ambiente com 134 toneladas de materiais que seriam depositados. Já em relação às águas residuárias, os valores continuam semelhantes ao ciclo aberto e sugerem-se medidas mitigadoras que envolvem a redução de consumo.

A título de comparação, a Fig. 4 apresenta o potencial de aquecimento global em quilogramas de CO<sub>2</sub> equivalente para os tipos de ciclo aberto e fechado (sem reintrodução de material reaproveitado no processo produtivo).

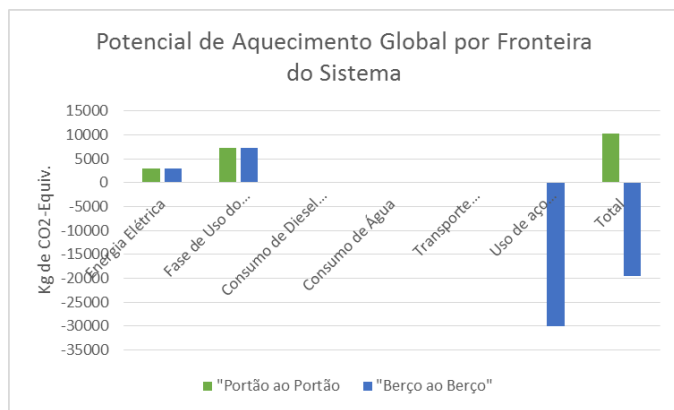


Fig. 4. Gráfico da comparação de potencial de aquecimento global por fronteira do sistema.

A utilização de aço reciclado em um processo produtivo do “berço ao berço” (ciclo fechado) resulta em um total de -20 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente emitidas, enquanto no outro caso, o total emitido é de 10 toneladas associadas indiretamente ao ciclo de vida de uma autoclave.

O uso do material reciclado representa, em si, uma economia de 30 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente que, de outra forma, seriam dispersas no meio ambiente por meio da extração, produção e transporte de matéria-prima, além de resíduos.

As diferenças relacionadas a redução de disponibilidade hídrica, por ser um dos impactos avaliados como significativos neste trabalho, estão graficamente apresentadas na Fig. 5. O total de depleção em m<sup>3</sup> equivalentes para o sistema de produção atual é de 143 m<sup>3</sup>, enquanto para um sistema ideal com a reutilização do aço, seria de 128 m<sup>3</sup>.

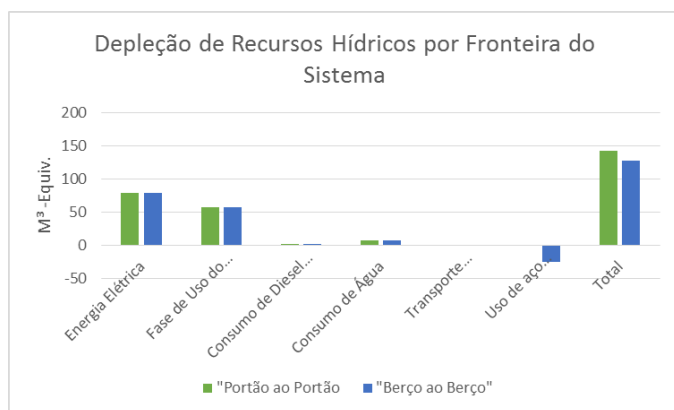


Fig. 5. Gráfico da comparação de depleção de recursos hídricos por fronteira do sistema.

#### IV. CONCLUSÃO

O presente trabalho aplicou os requisitos organizacionais da ferramenta de análise do ciclo de vida do produto (ACV), com base na norma EN ISO 14040:2006 para uma indústria de equipamentos biossegurança.

Dentre os impactos ambientais avaliados, a redução da vida útil do aterro, a poluição de recursos hídricos, o decréscimo de disponibilidade hídrica e de recursos naturais foram considerados ‘significativos’, principalmente devido a sua frequência e abrangência.

No processo de interpretação da ACV, foram identificados, mais de 26 mil toneladas de águas residuárias e 546 toneladas de emissões atmosféricas decorrentes, indiretamente, da produção de uma autoclave. De uma forma geral, a utilização de energia elétrica da matriz brasileira, composta maioritariamente por hidrelétricas, ocasiona emissões atmosféricas e também eutrofização e depleção de recursos hídricos. A quantidade de água utilizada também foi diagnosticada com um impacto negativo ao meio ambiente, por provocar processos de eutrofização e redução de recursos disponíveis.

A reciclagem de metais ao fim da fase de uso do produto, de forma que tais materiais sejam incorporados novamente no início do ciclo (ciclo fechado), gerou efeitos positivos no meio ambiente por meio de economia de extração, transporte e consumo de novas matérias primas. Nesse caso, foi constatado que possivelmente 134 toneladas de materiais deixariam de ser depositados no meio ambiente em forma de resíduos, além da diminuição de 6 mil toneladas de águas residuárias e redução de 100 toneladas de emissões atmosféricas.

#### REFERÊNCIAS

- [1] GARCIA, Conrado L. **Indicadores de desempenho baseados na análise do ciclo de vida de produto: um estudo na Weg Indústrias S.A. – motores**. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade da Região de Joinville, Joinville. 2008.
- [2] INSTITUTO PORTUGUÊS DE QUALIDADE, EN ISO 14040. **Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida – Princípios e enquadramento**. Caparica, 2008.
- [3] ASSIS, Bruno B. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. 2009. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- [4] MOREIRA, Maria S. **Estratégia e implantação de sistema de gestão ambiental modelo ISO 14000**. Belo Horizonte: Ed Desenvolvimento Gerencial, 2001.
- [5] SEIFFERT, Mari E. B. **ISO 14001 Sistemas de gestão ambiental: implantação objetiva e econômica**. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.



# *Revisão dos requisitos para implementação de um Sistema de Gestão Ambiental de acordo com a ISO 14001:2015*

Ana Rosa Baliza  
Departamento de Garantia da  
Qualidade na Operação  
Eletronuclear  
Angra dos Reis, Brasil  
baliza@eletronuclear.gov.br

Ronney Mancebo Boloy,  
Jesus Púente  
CEFET/RJ, Campus Angra dos Reis  
Angra dos Reis, Brasil  
ronney.boloy@gmail.com  
jpunte@gmail.com

Amir Zacarias Mesquita,  
Youssef Morghi  
CDTN, Campus da UFMG  
Belo Horizonte, MG, Brasil  
amir@cdtn.br  
ssfmorghi@gmail.com

**Abstract**—A ISO 14001:2015 foi totalmente reformulada, sendo assim, alguns requisitos foram alterados, por exemplo, na edição anterior da norma existia o controle de documentos e controle de registros, agora estes requisitos foram substituídos para “informação documentada”, assim como o controle de ação preventiva, que deixou de constar na norma. Essas alterações seguiram o modelo adotado na ISO 9001 em vigor. Tendo em vista estas alterações, este artigo visa servir de guia para os usuários da ISO 14001:2015 durante uma auditoria ou implementação do Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA), são incluídos textos explicativos dos principais requisitos da norma e discutida algumas diferenças entre a edição atual da norma e a anterior.

**Keywords**— ISO 14001:2015; Sistema de Gerenciamento Ambiental; SGA; Auditoria, evidência objetiva.

## I. INTRODUÇÃO

A ISO 14001 é uma norma para implementação de um Sistema de Gestão Ambiental, assim como as normas de sistema de gestão, ela inclui a necessidade de um sistema de melhoria contínua [1].

A terceira edição da ISO 14001, ou seja, a edição de 2015, traz oportunidades para as organizações melhorarem o seu desempenho ambiental, alinhando o sistema de gestão com a sua estratégia, otimizando a integração na gestão global e melhorando a comunicação sobre o seu desempenho, permitindo deste modo aumentar a confiança nas organizações que se certificam por este referencial [2].

Esta nova edição da norma, enfatiza que o objetivo principal do SGA é melhorar o desempenho ambiental e exige que as empresas considerem todas as questões ambientais relativas às suas operações, como a poluição do ar, questões referentes à água e ao esgoto, a gestão de resíduos, a contaminação do solo, a mitigação e adaptação às alterações

climáticas e a utilização e eficiência dos recursos, introduz um conceito novo de ciclo de vida [1,2].

Vale ressaltar que ela exige que a empresa atenda a todos os requisitos legais que envolvem questões ambientais do município, estado e país em que a empresa está localizada. [1]

Este artigo objetiva auxiliar o usuário da norma, destacando quais as evidências objetivas para cada requisito da Norma ISO 14001:2015 e indicando algumas diferenças entre a edição atual da norma e a anterior.

## II. PRINCIPAIS REQUISITOS DA ISO 14001:20015

### *Requisito 4 – Contexto da Organização*

As empresas terão de compreender as condições ambientais, as questões internas e externas, ter experiência para verificar se a organização tem impactos positivos e/ou negativos. O termo “impacto ambiental” é utilizado frequentemente como algo negativo, entretanto, na literatura técnica existem outras definições [3], onde pode ser resumida da seguinte forma: “Mudança no ambiente (ecossistema), num determinado período de tempo, numa determinada área (região), resultante de um atividade, comparada com a situação que se manteria caso esta atividade não tivesse iniciado.”

Exemplos de impactos ambientais positivos são: construção de obras de revitalização, recuperação da mata ciliar de mananciais. [3]

Exemplos de impactos ambientais negativos são: geração de resíduos ou poluente tóxicos. [3]

### *Requisito 4.2 – Entendendo as necessidades e expectativas das partes interessadas (“steakholder”).*

Uma “parte interessada” é qualquer pessoa ou organização que pode afetar, ser afetada ou perceber-se

afetada pelas decisões ou atividades da organização que implementa o SGA.

Exemplos de partes interessadas: clientes, comunidades, empreiteiros, fornecedores, reguladores, ONGs, parceiros de negócios, etc.

#### *Requisito 4.3 – Definição do Escopo do SGA*

O escopo da organização deve ser estabelecido considerando os limites da organização e a aplicabilidade do SGA. O escopo do SGA pode incluir: toda a organização, funções específicas e identificadas da organização, seções específicas e identificadas da organização, ou uma ou mais funções em um grupo de organizações. A organização deve disponibilizar o escopo do SGA de forma documentada às partes interessadas.

#### *Requisito 4.4 – Sistema de Gestão Ambiental*

De acordo com a definição da norma [1]: “*Sistema de Gestão Ambiental: parte do sistema de gestão, usado para gerenciar os aspectos ambientais, cumprir os requisitos legais e outros requisitos, e abordar riscos e oportunidades.*”

A ISO 14001:2015, Cláusula 5.1, exige a integração dos requisitos do sistema de gestão ambiental nos processos de negócio da organização (isto é, Vendas, Compras, Fabricação, Transporte, etc.).

Os Processos do SGA de uma empresa podem ser definidos para: Fornecedor, Fabricante, Problemas de Clientes Internos ou Externos, Material, Recursos, Energia e Resíduos, Projeto, Operação, Produção, logística etc. Algumas informações documentadas podem ser usadas como evidência de que a organização implementou todos os processos de SGA necessários.

#### *Requisito 5 – Liderança (Requisito 5.1 - Liderança e comprometimento e Requisito 5.3 Papéis, responsabilidades e autoridades organizacionais)*

Estes itens foram alterados de acordo com a mudança de responsabilidades descritas na ISO 9001:2015 [4]. A alta direção (AD) deve enfatizar a importância de se atender aos requisitos do SGA. Além disso, ela (AD) também deve garantir que o SGA está atingindo os resultados pretendidos, e que a melhoria contínua é impulsionada dentro da organização.

Não há mais um requisito para a nomeação de Representante de Administração (RD), embora as funções atribuídas ao RD ainda devam ser realizadas e podem ser atribuídas a diferentes funcionários e cabe à Alta Direção atribuir estas responsabilidades e autoridades. Vale ressaltar que envolvimento da alta administração deve ser evidenciado através de informações documentadas.

#### *Requisito - 5.2 Política Ambiental*

A ISO 14001:2015 agora exige que a política ambiental de uma organização seja apropriada tanto para seu propósito como para seu contexto e deve ser uma informação documentada [1]. Quatro compromissos específicos devem ser incluídos na política: Proteger o meio ambiente, cumprir os requisitos legais, melhorar continuamente o SGA e melhorar o desempenho ambiental da organização.

#### *Requisito 6 Planejamento*

##### *Requisito 6.1 Ações para abordar riscos e oportunidades*

Ao decidir como planejar e controlar seu SGA, incluindo seus processos e atividades componentes, a organização precisa considerar tanto o tipo quanto o nível de risco associado a eles. As opções para enfrentar os riscos e oportunidades podem incluir: evitar riscos, assumir riscos para buscar uma oportunidade, eliminar a fonte de risco, alterar a probabilidade ou consequências, compartilhar o risco ou manter o risco por decisão informada, uso da abordagem de processo por organização para identificar fontes de entrada, atividades, saída, indicadores de desempenho para controlar e monitorar processos, riscos e oportunidades associados a eles e plano de ação para enfrentá-los.

##### *Requisito 6.1.2 Aspectos ambientais*

O processo de identificação e avaliação de aspectos ambientais deve agora considerar uma perspectiva de ciclo de vida. A avaliação do ciclo de vida deve estar de acordo com os requisitos da norma ISO 14044 [5,6]. A organização deve manter informações documentadas de seus: critérios utilizados para determinar os seus aspectos ambientais significativos, aspectos ambientais e impactos ambientais associados, aspectos ambientais significativos.

##### *Requisito 6.1.3 Requisitos legais e outros requisitos*

A organização deve manter informações documentadas de seus requisitos legais e outros requisitos. Os requisitos aplicáveis a organização são: Requisitos obrigatórios: leis e regulamentos aplicáveis. Compromissos voluntários, relações contratuais, princípios de boa governança e padrões comunitários e éticos.

##### *Requisito 6.1.4 Planejamento de Ações*

As ações previstas podem incluir: Estabelecimento de objetivos; estabelecer novos controles ou melhorar os existentes; estabelecer ou expandir os métodos de monitoramento. Ao planejar as ações, a organização deve considerar suas opções tecnológicas e seus requisitos financeiros, operacionais e de negócios.



#### *Requisitos 6.2.1 Objetivos ambientais e 6.2.2 Planejamento de ações para alcançar objetivos ambientais*

A organização deve manter informações documentadas sobre os objetivos ambientais.

Uma questão importante na revisão de 2015 é o uso de indicadores para monitorar a realização dos objetivos. Os indicadores são definidos como uma representação mensurável do estado das operações, da gestão ou das condições. Cada objetivo precisará de um ou mais indicadores associados. [7]

O planejamento para atingir os objetivos deve incluir a determinação do trabalho necessário para que a organização realize seus objetivos ambientais, os recursos necessários para realizar esse trabalho, quem será responsável por assegurar que o trabalho é feito e quando o trabalho precisa ser concluído.

#### *Requisito 7 Suporte (Requisitos 7.1 Recursos, 7.2 Competência, 7.3 Conscientização)*

A organização tem de identificar os recursos de que necessita para assegurar o funcionamento eficaz do SGA.

Recursos como Matérias-primas, infraestrutura, finanças, pessoal e TI, todos os quais podem ser fornecidos internamente ou externamente.

A evidência de competência agora é expandida para ser necessária para as pessoas que podem afetar o desempenho ambiental da organização. Deve ser assegurado que essas competências sejam possuídas pelas pessoas que fazem o trabalho sob o controle da organização, incluindo: o próprio pessoal da organização, contratados e pessoal terceirizado que trabalha no local ou fora do local. [8]

As pessoas que estão fazendo o trabalho sob o controle da organização devem estar cientes da política ambiental da organização, de quaisquer objetivos relevantes para eles, de como eles estão contribuindo para a efetividade do SGA e quais são as implicações não conformes com os requisitos do SGA.

#### *Requisito 7.4 Comunicação (7.4.2 Comunicação Interna e 7.4.3 Comunicação Externa)*

A organização deve conservar informações documentadas como prova de suas comunicações, conforme apropriado.

As organizações precisam desenvolver e implementar um processo para determinar os assuntos relacionados ao SGA sobre os quais deseja se comunicar.

Deve ser implementado algum processo para comunicar informações relacionadas ao SGA (incluindo atualizações e alterações) para todas as funções e vários níveis da

organização. As pessoas que trabalham sob o controle da organização devem contribuir para o SGA e sua melhoria contínua, ou seja, deve ser criado um canal de comunicação do SGA na empresa.

Externamente, as organizações têm de se comunicar conforme exigido por seus requisitos legais. Além disso, as organizações podem optar por comunicar sobre outras questões, conforme apropriado. O processo tem que garantir que todas as comunicações recebidas sejam respondidas adequadamente. Devem ser verificados os requisitos da norma ISO 14063 [9].

#### *Requisito 7.5 Informações Documentadas*

O SGA da organização deve incluir todas as informações documentadas exigidas pela norma ISO 14001:2015, e as informações determinadas pela própria organização como necessárias para a eficácia do SGA.

Os termos "procedimento documentado" e "registro" utilizados na ISO 14001:2004 foram substituídos pelo termo "informação documentada", que é definida como informação que deve ser controlada e mantida por uma organização, bem como o meio em que ele está contido. As informações documentadas podem estar em qualquer formato e mídia e de qualquer fonte. Deve existir um processo de controle das informações documentadas, assim como era feito para o controle de documentos e registros.

#### *Requisito 8 Operação*

##### *Requisito 8.1 Planejamento e controle operacional*

A ISO 14001: 2015 introduz três novas questões:

1. A organização deve controlar mudanças;
2. A organização deve ter perspectiva do ciclo de vida; e
3. A organização deve controlar os processos terceirizados.

A organização deve manter informação documentada para o requisito 8.1.

##### *Requisito 8.2 Preparação e resposta a emergências*

A organização deve estabelecer e manter processos que especificam como reagir a possíveis situações de emergência ambiental e acidentes potenciais, através de informação documentada.

Este é um dos poucos casos em que processos específicos são obrigatórios. As partes interessadas devem ser informadas destas disposições (e, quando necessário, treinadas se forem obrigadas a participar na resposta de emergência).

#### *Requisito 9 Avaliação de desempenho*

##### *9.1 Monitorização, medição, análise e avaliação*

A organização deve avaliar o seu desempenho ambiental e a eficácia do SGA. A organização deve monitorar, medir, analisar e avaliar seu desempenho ambiental e deve reter informações documentadas apropriadas como evidência dos resultados de monitoramento, medição, análise e avaliação.

A norma ISO 14031:2015 [10] deve ser usada em conjunto com a ISO 14001:2015, uma vez que ela estabelece um processo chamado de avaliação de desempenho ambiental (ADA), que permite que as organizações possam medir, avaliar e comunicar o seu desempenho ambiental por meio de indicadores-chave de desempenho (ICD), com base em informações confiáveis e verificáveis.

##### *9.2 Auditoria interna*

A organização deve planejar, estabelecer, implementar o programa de auditoria, para incluir a frequência, métodos, responsabilidades, requisitos de planejamento e relatórios das auditorias.

Os resultados da auditoria e outras evidências da implementação do programa de auditoria devem ser mantidos como informações documentadas pela organização e devem ser relatados para o nível gerencial relevante.

Os requisitos da norma ISO 19001 [11] devem ser atendidos.

##### *Requisito 9.3 Análise crítica pela direção*

A AD deve revisar o SGA da organização, em intervalos planejados, para garantir sua adequação, adequação e eficácia contínuas.

Os resultados da revisão da gestão devem incluir: conclusões sobre a continuação da adequação; adequação e eficácia do SGA; decisões relativas a oportunidades de melhoria contínua; decisões sobre qualquer necessidade de alterações ao sistema de gestão ambiental, incluindo as necessidades de recursos; ações, se necessário, quando os objetivos não foram atingidos; oportunidades para melhorar a integração do sistema de gestão ambiental com outros processos de negócio, se necessário; quaisquer implicações para a direção estratégica da organização.

Este requisito está ligado ao requisito da Alta Direção e a organização deve reter informação documentada como evidência dos resultados das análises críticas pela direção.

##### *Requisito 10 Melhoria*

A organização deve identificar as oportunidades de melhoria e tomar as medidas necessárias para melhor alcançar o resultado esperado de seu SGA.

Esta é uma nova seção que enfatiza a necessidade geral de exigir que as organizações busquem ativamente e realizem oportunidades de melhoria que melhor permitirão que a organização alcance os resultados esperados do SGA.

As fontes potenciais de oportunidades de melhoria incluem os resultados da análise e avaliação de: desempenho ambiental, conformidade, auditorias internas, revisões de gestão.

A melhoria nem sempre pode ocorrer de forma contínua. Por vezes, "Melhoramento" pode ser efetuado de forma reativa (por exemplo, ação corretiva), incrementalmente (por exemplo, melhoria contínua), por mudança de fase (por exemplo inovação), criativamente (por exemplo inovação) ou por reorganização (por exemplo, transformação). [2]

A ação preventiva já não existe como um requisito explícito.

No entanto, o conceito ainda sustenta a ISO 14001:2015 e é incorporado no pensamento baseado no risco.

##### *Requisito 10.2 Não conformidade e ação corretiva*

- A) A organização deve reagir a qualquer não-conformidade ocorrida e, conforme aplicável: tomar medidas imediatas para controlá-la e corrigi-la e lidar com as consequências, atenuar os impactos ambientais adversos.
- B) Para que a não conformidade não recorra ou ocorra em outro lugar; A organização deve avaliar a necessidade de qualquer ação para eliminar as causas da não conformidade por meio de: rever a não conformidade, determinar as causas da não conformidade, determinar se existem não-conformidades semelhantes, ou potencialmente ocorrer.
- C) As ações corretivas devem ser determinadas e implementadas conforme necessário.
- D) A organização deve revisar a eficácia de qualquer ação corretiva tomada.
- E) A organização deve fazer mudanças no sistema de gestão ambiental, se necessário.

A organização deve manter informações documentadas como evidência de: a natureza das não conformidades e quaisquer medidas subsequentes tomadas, os resultados de qualquer ação corretiva.

Pode haver casos em que é impossível eliminar completamente a causa da não-conformidade. Portanto, em alguns casos, o que as melhores organizações podem fazer é

reduzir a probabilidade ou as consequências de uma ocorrência semelhante acontecendo novamente, a fim de reduzir o risco a um nível aceitável.

#### *Requisito 10.3 Melhoria contínua*

A organização deve melhorar continuamente a adequação e eficácia do SGA para melhorar o desempenho ambiental.

A organização deve implementar as oportunidades de melhoria identificadas de forma controlada.

### III. CONCLUSÃO

Com a nova versão da ISO 14001, onde é enfatizado que o objetivo principal do SGA é melhorar o desempenho ambiental, as organizações terão que, principalmente: (1) adotar um sistema de avaliação de desempenho ambiental; (2) implementar um sistema de gestão por competência que atinja todas as pessoas envolvidas no SGA, mesmo que elas sejam externas à organização; (3) implementar processos que especificam como reagir a possíveis situações de emergência ambiental e acidentes potenciais; (4) estabelecer um ciclo de vida para seus produtos; (5) manter a AD envolvida no SGA.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às seguintes instituições: CNEN/CDTN, CAPES Programa de Pós-Graduação (PEC-PG), ELETRONUCLEAR, CEFET/RJ-Campus Angra dos Reis, FAPEMIG, INCTRN e CNPq.

### REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14001:2015: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Terceira Edição. Data 06.10.2015.
- [2] GUIA DO UTILIZADOR ISO 14001:2015, disponível em [http://www.apcergroup.com/portugal/images/site/graphics/guidas/apcer\\_guias\\_iso14001.pdf](http://www.apcergroup.com/portugal/images/site/graphics/guidas/apcer_guias_iso14001.pdf)
- [3] Sánches, Luis Henrique. Avaliação de Impacto Ambiental. Conceitos e Métodos. 2ª Edição. São Paulo, Oficina de Textos. 2013.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9001:2015: Sistema de Gestão da Qualidade - Requisitos. DATA: 30/09/2015.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Versão Corrigida. Data: 21.07.2014.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14044:2009 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

[7] de Souza, Lucila Maria & de Melo, Daiane Aparecida Campos. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. Produção, v. 18, n. 3, set./dez. 2008, p. 540-555.

[8] Fleury, Afonso & Fleury, Maria Tereza. Construindo o Conceito de Competência. Em: RAC, Edição Especial de 2001: 183-196.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14063:2009: Gestão ambiental: comunicação ambiental – diretrizes e exemplos. Rio de Janeiro, 2009.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14031:2015: Gestão ambiental — Avaliação de desempenho ambiental — Diretrizes. Segunda edição. Data: 16/01/2015.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 19001:2012: Diretrizes para auditorias de sistema de gestão da qualidade e/ou ambiental.



# Deteção remota e termografia por infravermelhos aplicada a parcela no Baixo Mondego, Portugal

Lara I.V. Santos

MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente  
Coimbra, Portugal

José M. Gonçalves

Dept. de Ambiente, Escola Superior Agrária  
Politécnico de Coimbra,  
Bencanta, Coimbra, Portugal

Gustavo W. Nagel

Dept. de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra  
Coimbra, Portugal

Isabel P. de Lima, João L.M.P. de Lima

MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente  
Dept. de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra  
Coimbra, Portugal

**Resumo**—Este trabalho apresenta resultados preliminares relativos à incorporação de informação obtida a partir de termografia por infravermelhos e imagens de satélite (Landsat 8) na modelação de processos hidrológicos de superfície, visando contribuir para a gestão da água em agricultura de regadio. O estudo de caso diz respeito à cultura do milho numa parcela localizada no Baixo Mondego (Portugal), com as imagens termográficas a amostrarem a condição de plantas e da superfície do solo.

**Palavras-chave**—Landsat 8, Deteção remota; Imagem termográfica; CWSI; TDVI; Campos agrícolas; Baixo Mondego; Gestão de água.

## I. INTRODUÇÃO

A gestão da água em agricultura de regadio, nomeadamente ao nível da parcela, é fundamental para precaver situações de stress hídrico e garantir bons níveis de produção das culturas, aumentando o seu rendimento. A termografia por infravermelhos tem potencial enquanto ferramenta de apoio à otimização do uso da água em sistemas agrícolas, assentando no princípio básico de que a temperatura das folhas das culturas está relacionada com a perda de vapor de água por transpiração.

O presente trabalho tem como principal objetivo a comparação de diferentes indicadores de stress hídrico, para uma parcela em cultura de milho, localizada no Baixo-Mondego, Coimbra, calculados a partir de dados obtidos através de medições termográficas por infravermelhos (IV) e de imagens de satélite (Landsat 8). Apresentam-se resultados preliminares relativos a campanhas de monitorização da cultura conduzidos em 2016.

Este trabalho insere-se no âmbito do Projeto HIRT – Modelação de processos hidrológicos de superfície com base em termografia de infravermelhos às escalas local e da parcela, PTDC/ECM-HID/4259/2014-POCI-01-0145-FEDER-016668, e surge no seguimento de trabalhos anteriores que demonstram o potencial da termografia por infravermelhos em hidrologia [1], [2], [3] e [4].

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Área de Estudo

A parcela de terreno estudada, com área de 1.3 ha, situa-se no Aproveitamento Hidroagrícola do Baixo Mondego, no bloco da Margem Esquerda, na localidade de Ameal. O ponto central da parcela tem coordenadas 40° 11' 48.69" N, 8° 33' 7.32" W, de acordo com o Sistema de coordenadas WGS84, e encontra-se a 9-10 m de altitude (Fig. 1). Em 2016, foi cultivado milho nesta parcela, onde a rega é de superfície, por sulcos.

### B. Medições termográficas no campo

A recolha de imagens termográficas acompanhou o desenvolvimento da cultura de milho, no ano de 2016, sendo efetuada manualmente com uma câmara termográfica portátil (resolução de imagem 240 × 240 pixéis e precisão de cerca de 0.1 °C), colocada sempre verticalmente sobre as plantas, considerando uma visão de topo que abrange uma área de 4 m<sup>2</sup> (i.e., captando informação relativamente à superfície da parcela agrícola, o que inclui vários elementos físicos, e.g., plantas, solo) e apenas da folha, em condições de céu limpo e próximo do meio-dia solar, para capturar os níveis máximos de stress hídrico da cultura. As imagens foram recolhidas em 9 pontos de amostragem (Fig. 2).



Fig. 1. Localização da área de estudo.

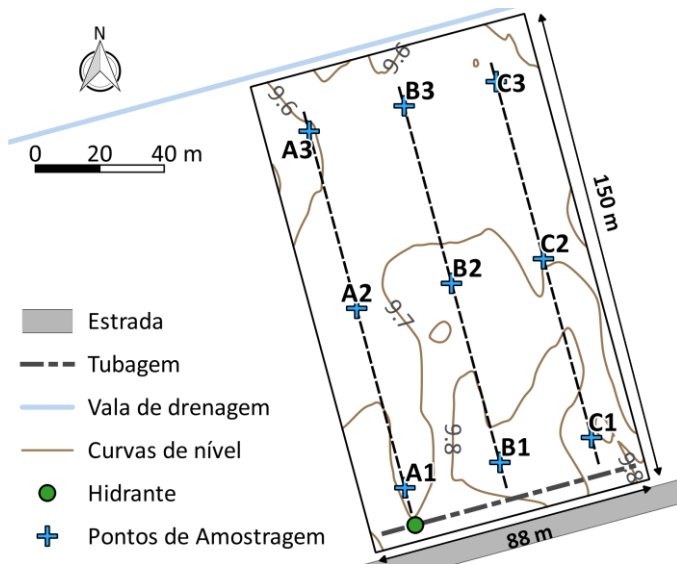


Fig. 2. Representação esquemática da localização dos pontos de amostragem na parcela de estudo e sua topografia.

O processamento das imagens termográficas (Fig. 3) foi realizado recorrendo ao *software* FLIR Research, que permite a estimativa de temperaturas em cada *pixel* da imagem, sendo possível obter histogramas, temperaturas médias, temperaturas máximas e temperaturas mínimas em cada imagem (ou secção representativa da imagem). Foram consideradas temperaturas de folha e temperaturas de superfície da parcela, entre 24 de julho e 30 de outubro de 2016. A informação foi processada posteriormente com auxílio do *software* QGIS, para obter estimativas da temperatura numa malha semelhante à das imagens de satélite ( $30 \times 30 \text{ m}^2$ ).

O parâmetro *Crop Water Stress Index* (CWSI), um indicador do stress hídrico da cultura, também foi analisado, sendo estimado a partir dos dados obtidos e tendo por base a equação [5]:

$$\text{CWSI} = (T_{\text{canopy}} - T_{\text{wet}}) / (T_{\text{dry}} - T_{\text{wet}}) \quad (1)$$

onde  $T_{\text{canopy}}$  é a temperatura superficial da folha, obtida a partir de medições termográficas;  $T_{\text{wet}}$  é a temperatura superficial de uma planta totalmente regada, planta sem stress hídrico, sendo avaliada a partir de medição termográfica de uma superfície de planta completamente pulverizada com água;  $T_{\text{dry}}$  é a temperatura de uma superfície de folha não-transpirante, com um elevado stress hídrico, sendo obtida por medição termográfica de um pano verde seco [6]. O CWSI varia entre 0 e 1, onde 1 representa o valor máximo de stress hídrico, quando as plantas não realizam transpiração, enquanto que 0 representa a ausência de stress hídrico, quando as plantas transpiram mais. Esta abordagem empírica de cálculo do CWSI apenas se torna válida em condições de céu limpo.

### C. Análise de imagens de satélite

As imagens de satélite (Fig. 4) pertencem ao Landsat 8 OLI (*Operational Land Imager*) e ao TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) [7], obtidas a cada 16 dias, com resolução espectral de

11 bandas e resolução espacial de 30 m e de 100 m (reamostradas para 30 m), respetivamente. As datas das imagens consideradas são compreendidas entre 14 de julho e 3 de novembro de 2016, recolhidas às 11h 14m, hora correspondente ao centro da imagem. Os valores de temperatura da superfície (com auxílio da banda 10, de comprimento de onda entre 10.6 e 11.9  $\mu\text{m}$ ), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI) foram obtidos com o processamento destas imagens, tendo por base [8], [9], e recorrendo ao *software* ArcGIS.

O TVDI é um indicador de stress hídrico, determinado a partir da parametrização empírica da relação entre a temperatura superficial e o NDVI [3]. Este índice varia entre 0 e 1, onde o valor 1 é o limite seco (disponibilidade de água limitada) e o valor 0 indica o limite húmido (máxima evapotranspiração e plena disponibilidade de água). O TVDI obtém-se através da equação [10]:

$$\text{TVDI} = [T_s - T_{s(\text{mínimo})}] / [(a + b \times \text{NDVI}) - T_{s(\text{mínimo})}] \quad (2)$$

onde o  $T_{s(\text{mínimo})}$  define o limite húmido, obtido pela menor temperatura da área, o  $T_s$  é a temperatura superficial do  *raster* e os parâmetros  $a$  e  $b$  são obtidos através da linearização do limite seco obtidos a partir do gráfico de distribuição, que tem como variável os valores de NDVI.

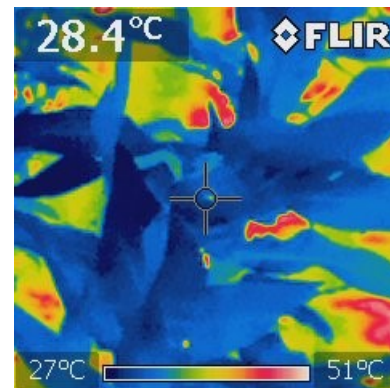


Fig. 3. Exemplo de imagem termográfica da superfície da parcela agrícola, obtida por uma câmara FLIR.

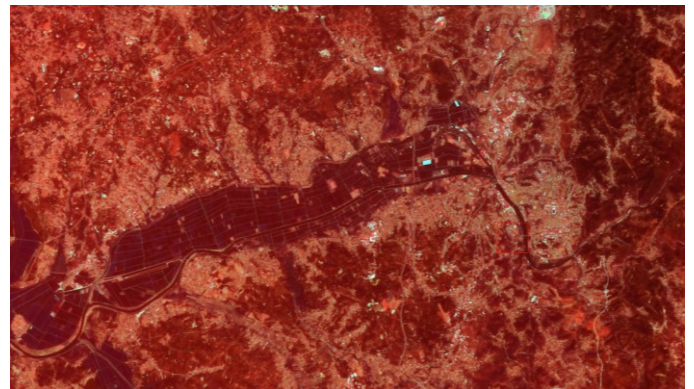


Fig. 4. Exemplo de imagem de satélite Landsat 8 [7], para a região de Coimbra, no dia 15 de agosto de 2016 (bandas 10, 3 e 2).



## III. RESULTADOS

Numa primeira fase, comparou-se a variação temporal das medições de campo e a relativa às imagens de satélite (Fig. 5), considerando médias ponderadas de temperaturas para a totalidade da parcela. Observou-se uma diminuição de temperatura, para todos os tipos de observação, apesar do desvio das linhas de tendência devido a: (i) diferença horária das observações; (ii) a temperatura da folha, a temperatura da superfície do solo de 4 m<sup>2</sup> e a temperatura obtida a partir de imagens de satélite na resolução 30 × 30 m<sup>2</sup> dizem respeito a diferentes elementos físicos.

A presença de nuvens nas imagens de satélite restringiu a análise das imagens de 30 de julho, 16 de setembro e 3 de novembro.

Apenas no dia 2 de outubro de 2016 há valores de medições no campo e imagens de satélite, verificando-se uma diferença de cerca de 4 °C entre a temperatura de folha e a temperatura obtida por satélite. Esta diferença é justificada por diferentes horários de medição: a temperatura de campo foi obtida às 14h30m, enquanto que a temperatura de satélite foi obtida pelas 11h14m, portanto recolhida a uma hora de menor calor.

Na Fig. 6, a imagem de satélite apresenta uma variação gradual da temperatura (envolvendo cerca de 1 °C), enquanto que nas medições de campo, efetuadas mais tarde no dia, a variação de temperatura é mais acentuada (variando cerca de 7 °C). O estudo das imagens de satélite termográficas deve ser aprofundado no contexto do tipo de aplicação envolvido neste estudo, de modo a compreender a relação entre as diferentes escalas de amostragem e permitir a obtenção de uma base de dados útil à avaliação das condições hidrológicas ao nível das parcelas agrícolas.

De seguida, comparou-se a variação dos diferentes indicadores de stress hídrico ao longo do tempo, considerando médias ponderadas para a totalidade da parcela de estudo (Fig. 7). O indicador NDVI tem correlação com o índice de área foliar e com a biomassa da planta. Neste caso, verificam-se valores mais elevados no mês de agosto, coincidindo com estado mais desenvolvido da cultura, que também foi confirmado com a medição da altura das plantas. As medições de campo mostram que o CWSI tende a aumentar na fase de desenvolvimento final da cultura. O mesmo não se verifica com o TDVI, na Fig. 7; no entanto a comparação pode estar enviesada pela ausência de dados que permitam a estimativa deste parâmetro na fase final, como obtido para o CWSI.

A variação espacial do CWSI e TVDI também foi analisada para o dia 2 de outubro de 2016 (Fig. 8).

Os dados obtidos a partir da deteção remota sugerem uma variação gradual do índice de stress hídrico (TDVI, Fig. 8), aumentando de sul para norte, o que é consistente com o facto da rega da parcela ser por sulcos abastecidos pelo lado sul, proporcionando aí aplicações de água superiores às que atingem a fronteira norte. Nas medições de campo, o CWSI também apresenta valores elevados de stress hídrico na fronteira norte da parcela; no entanto, apresenta alguns valores de stress hídrico na fronteira sul, talvez devido a condições de fronteira (proximidade e confinamento com caminho). Os resultados sugerem que será necessário, em futuras

monitorizações na parcela, aumentar o número de pontos de amostragem, de modo a evitar enviesamentos na espacialização da temperatura na parcela, com origem em tais condições de fronteira.

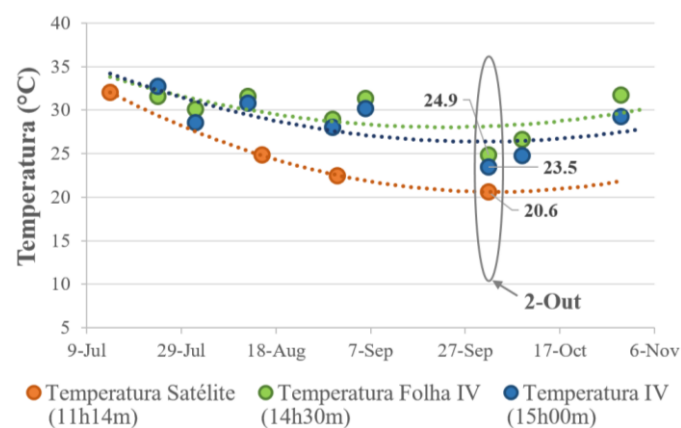


Fig. 5. Variação temporal de temperaturas médias na parcela, para temperatura de infravermelho (IV) de folha, temperatura IV da superfície da parcela e temperatura obtidas por deteção remota. Destacam-se as estimativas obtidas para o dia 2 de outubro, com a variação espacial mostrada na Fig. 6.

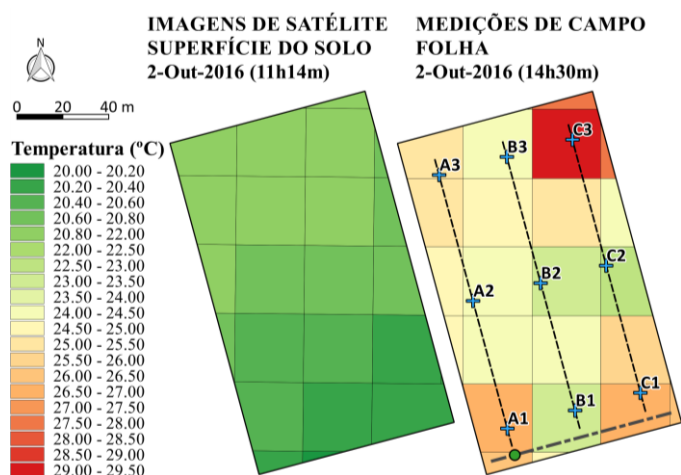


Fig. 6. Variação espacial de temperatura (°C), considerando as imagens de satélite ( $T_{superfície}$ ) e as medições de campo ( $T_{folha}$ ), com base em 9 pontos de amostragem, para o dia 2 de outubro de 2016 (ver Fig. 5).

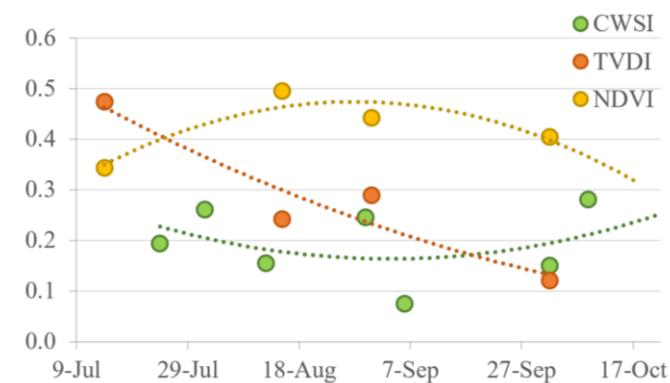
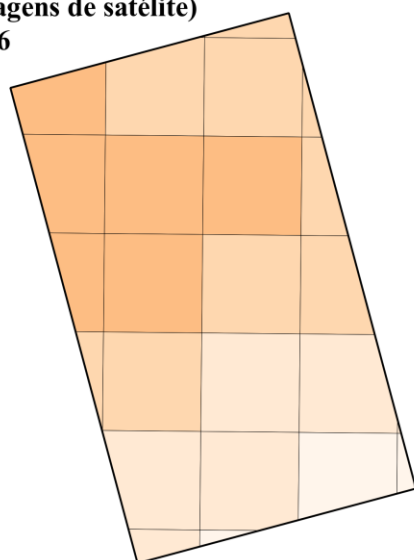


Fig. 7. Variação temporal de indicadores de stress hídrico: CWSI (medições de campo), NDVI e TVDI (imagens de satélite).

**TDVI (imagens de satélite)**  
**2-Out-2016**



**CWSI (medições de campo)**  
**2-Out-2016**



**Stress Hídrico (0-1)**

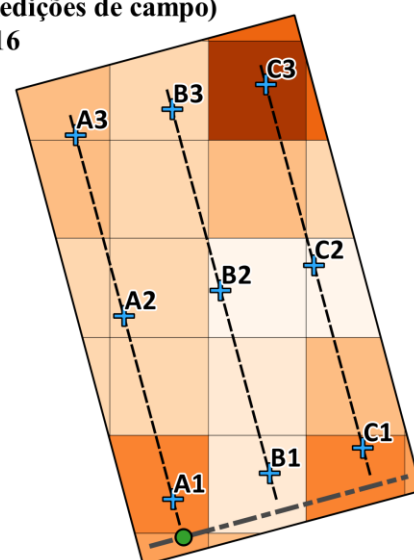
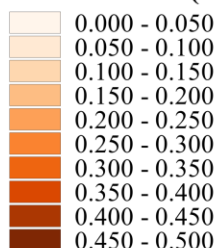


Fig. 8. Variação espacial de índices de stress hídrico, considerando o TDVI (imagens de satélite) e o CWSI (medições de campo com base em 9 pontos de amostragem), para o dia 2 de outubro de 2016.

#### IV. CONCLUSÕES

O presente trabalho permite concluir que: (i) as imagens de satélite com resolução de  $30 \times 30 \text{ m}^2$  possibilitam uma avaliação estratégica do uso da água em parcelas agrícolas, sendo uma forma rápida de obter informação, ao contrário da obtenção em campo baseada em câmaras termográficas operadas manualmente e de forma demorada, mesmo para uma pequena área; (ii) em trabalhos futuros, a relação entre os parâmetros obtidos a partir das medições de campo e de imagens de satélite deverá ser aprofundada, com o agendamento de medições de campo para o mesmo horário em que serão recolhidas imagens de satélite, permitindo assim a correlação de variáveis e a interligação de informação, para auxiliar o estudo dos processos hidrológicos a diferentes escalas e otimizar a gestão de água, nomeadamente em campos agrícolas; (iii) em outros trabalhos futuros será considerada uma outra escala, recorrendo ao auxílio de *drones* para recolha de imagens termográficas, permitindo relacionar esta escala intermédia, com as escalas de campo e de satélite.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento do Projeto PTDC/ECM-HID/4259/2014 – POCI-01-0145-FEDER-016668 – Modelação de processos hidrológicos de superfície com base em termografia de infravermelhos às escalas local e da parcela, co-financiado pela FCT e FEDER.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J.L.M.P. de Lima and J.R.C.B. Abrantes, "Can infrared thermography be used to estimate soil surface microrelief and rill morphology?" CATENA 113, 2014, pp. 314-322; doi: 10.1016/j.catena.2013.08.011.
- [2] J.L.M.P. de Lima and J.R.C.B. Abrantes, "Using a thermal tracer to estimate overland and rill flow velocities," Earth Surface Processes and Landforms 39 (10), 2014, pp. 1293-1300; doi: 10.1002/esp.3523.
- [3] J.L.M.P. de Lima, J.R.C.B. Abrantes, V.P. Silva Jr, and A.A.A. Montenegro, "Prediction of skin surface soil permeability by infrared thermography: a soil flume experiment," Quantitative Infrared Thermography Journal 11 (2), 2014, pp. 161-169; doi: 10.1080/17686733.2014.945325.
- [4] J.L.M.P. de Lima, J.R.C.B. Abrantes, V.P. Silva Jr, M.I.P. de Lima and A.A.A. Montenegro, "Mapping soil surface macropores using infrared thermography: an exploratory laboratory study," The Scientific World Journal, Article ID 845460, 2014, 8 pages; <http://dx.doi.org/10.1155/2014/845460>.
- [5] R.D. Jackson, S.B. Idso, and R.J. Reginato, "Canopy temperature as a crop water stress index," Water Resour. Res. 17, 1981, pp. 1133-1138.
- [6] S. Taghvaeian, J.L. Chávez, and N.C. Hansen, "Infrared Thermometry to Estimate Crop Water Stress Index and Water Use of Irrigated Maize in Northeastern Colorado," Remote Sens. 4, 2012, pp. 3619-3637; doi:10.3390/rs4113619.
- [7] USGS, EarthExplorer. Acedido a partir de 20 de março de 2017, em <https://earthexplorer.usgs.gov/>, 2017.
- [8] L.E. Pertovt, "Estimativa do stress hídrico da vegetação e análise de suas condicionantes geoambientais no vale do Rio dos Sinos: uma aplicação de sensoriamento remoto," Dissertação de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Rio dos Sinos, São Leopoldo, Brasil, 2008.
- [9] USGS, "Landsat 8 (L8), Data Users Handbook," Version 2.0, Department of the Interior, U.S. Geological Survey, March 2016, USA.
- [10] I. Sandholt, K. Rasmussen, and J. Andersen, "A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status," Elsevier. Remote Sensing of Environment 79, 2002, pp. 213-224.



# MODELO DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA: UMA PROPOSTA PARA AVALIAÇÃO E MELHORIA DE DESEMPENHO DAS IES BRASILEIRAS

Marcus Val Springer  
CEFET-RJ  
Angra dos Reis, Brasil  
marcusvalspringer@gmail.com

Vanessade Almeida Guimarães  
CEFET-RJ  
Angra dos Reis, Brasil  
vanessaguim@hotmail.com

**Resumo**— Este artigo tem como objetivo propor um Modelo de Gestão Universitária (MGU) visando fornecer uma estrutura conceitual para a realização de uma avaliação por fatores do negócio. Este modelo foi desenvolvido em cima dos fundamentos de Gestão da Qualidade Total (GQT), considerando que o cliente final de uma Instituição de Ensino Superior é o mercado. Dessa forma, o aluno ingressante em uma Instituição assume o papel de matéria-prima que, por sua vez, deverá ser transformada em produto acabado na forma de um profissional que deverá atender as especificações do cliente final (mercado). O MGU apresentado possui seis categorias e vinte e um elementos que devem ser trabalhados de maneira integrada para que uma Instituição de Ensino Superior possa alcançar performance de classe mundial e atingir os objetivos incorporados ao Plano de Desenvolvimento Institucional.

**Palavras chave**—gestão universitária; modelo; qualidade; desempenho

## I. INTRODUÇÃO

O mercado de trabalho impõe que os profissionais estejam capacitados, habilitados e engajados num processo de aprendizagem contínua, que beneficie a manutenção de sua empregabilidade. Este cenário exige uma postura ativa das Instituições de Ensino Superior (IES), de forma que promova a formação desse novo perfil profissional, atendendo as necessidades do mercado.

Essa nova postura deve ser baseada nos pressupostos de que a educação deve transmitir, de fato, de forma efetiva, cada vez mais saberes e saber-fazer evolutivos, adaptadas à civilização cognitiva, pois são bases das competências do futuro. Delors (1999) afirma que a educação deve fornecer, de algum modo, os mapas de um mundo complexo e constantemente agitado e, ao mesmo tempo, ser a bússola que permita navegar através dele. O autor acrescenta ainda que a educação precisa se organizar em torno de quatro aprendizagens fundamentais que, ao longo de toda vida, serão de algum modo para cada indivíduo, os pilares do conhecimento:

- Estágio 1: aprender a conhecer, isto é adquirir os instrumentos da compreensão;

- Estágio 2: Aprender a fazer, para poder agir sobre o meio envolvente;
- Estágio 3: Aprender a viver juntos, a fim de participar e cooperar com os outros em todas as atividades humanas;
- Estágio 4: Aprender a ser, via essencial que integra as três precedentes.

Dessa forma, acredita-se que quando um indivíduo chega ao estágio 4, ele adquiriu o perfil ideal para ingressar no mercado de trabalho, pois passa a conhecer, fazer, conviver e colaborar (Delors, 1999).

A partir desse pressuposto, entende-se que as Instituições de Ensino (em todos os níveis) têm um papel fundamental, já que são responsáveis em fornecer estes conhecimentos ao longo da vida de uma pessoa. No entanto, no caso das IES, acredita-se que as competências/conhecimentos que devem ser passadas para este indivíduo precisam estar articuladas com as empresas (um dos elementos do mercado), que irão absorvê-lo como mão-de-obra.

Destaca-se que as IES interagem com o maior número de segmentos da sociedade do que qualquer outra organização, por conta do seu caráter interdisciplinar. Por isso, sua gestão fomenta a discussão em instâncias políticas e acadêmicas (Canterle e Favaretto, 2008).

Fica claro, portanto, a existência de uma expectativa, não só do mercado quanto da sociedade, em relação à qualidade dos serviços prestados pelas IESs. Assim, Canterle e Favaretto (2008) defendem que são necessárias melhorias contínuas para alcançar e assegurar o desempenho científico, econômico e social. No ponto de vista dos autores: “a universidade é estruturada para atender o mundo do trabalho, mundo científico e acadêmico, sendo a sua qualidade expressão maior de deferência da sociedade, assim como sua ausência, alvo de questionamentos” (Canterle e Favaretto, 2008, p.395).

Baseado nessas colocações, pode-se afirmar que os verdadeiros clientes de uma IES são: (i) a sociedade, tendo em vista o potencial de impacto da pesquisa e da inovação tecnológica desenvolvida pelas IESs na qualidade de vida e nas relações sociais (conforme destacado por Franco, Afonso e

Bordignon, 2012); e, (ii) o próprio mercado, (que por sua vez coloca seus requerimentos e necessidades de um profissional cada vez mais habilitado e produtivo. Assim, fazendo uma analogia com o sistema produtivo, o aluno assume o papel de matéria-prima e a IES é a firma que precisa transformar esta matéria-prima (aluno) em um produto acabado na forma de um profissional capacitado e preparado para ser consumido pelo mercado (e para atuar nos diferentes segmentos sociais).

No Brasil, toda IES precisa elaborar um Plano de Desenvolvimento Institucional – PDI, para um período de cinco anos. Este documento é que identifica a IES, no que diz respeito à sua filosofia de trabalho, à missão a que se propõe, às diretrizes pedagógicas que orientam suas ações, à sua estrutura organizacional e às atividades acadêmicas que desenvolve e/ou que pretende desenvolver. Em outras palavras, é o planejamento estratégico (longo prazo) da IES.

No entanto, o cumprimento dos objetivos incorporados no PDI esbarra em uma série de problemas conceituais e operacionais por parte das IES. Estes problemas vão desde o entendimento de quem é o cliente e do meio em que Instituição está inserida até a elaboração e implementação de processos para cumprir as metas estabelecidas no PDI.

É neste contexto, que este trabalho tem o intuito de propor um Modelo de Gestão Universitária (MGU) de forma a fornecer uma estrutura conceitual para a realização de uma avaliação por fatos do negócio, objetivando o cumprimento dos objetivos incorporados no PDI da IES. Para tanto, foram feitas pesquisas bibliográficas e documentais. Destaca-se que este modelo foi desenvolvido em cima dos fundamentos da Gestão da Qualidade Total (GQT).

Ressalta-se que, de acordo com Canterle e Favaretto (2008), as universidades têm sido cada vez mais desafiadas a demonstrar qualidade no seu desempenho, o que justifica o desenvolvimento do MGU proposto nesta pesquisa.

A partir desta introdução, o trabalho apresenta: (ii) os conceitos de gestão da qualidade na educação; (iii) o modelo de gestão proposto e (iv) considerações finais.

## II. GESTÃO DA QUALIDADE E QUALIDADE EDUCACIONAL

A definição de qualidade, de forma simples, é o que distingue um produto (e/ou serviço, professor, escola etc.) de outro similar. A busca pela qualidade total deve permear a vida em sua complexidade no trabalho e especialmente nas organizações. Feigenbaum (1992) afirma que qualidade em produtos e serviços pode ser definida como a combinação de características de produtos e serviços referentes ao *marketing*, engenharia, produção e manutenção, por meio das quais produtos e serviços em uso corresponderão às expectativas do cliente. Outros termos, como confiabilidade, acessibilidade e manutenção, também definem a qualidade do produto. Esses termos que representam características individuais e distintas compõem a combinação total da qualidade do produto e do serviço.

De uma forma generalista, o significado da qualidade tem sua orientação voltada à satisfação do consumidor. Neste pensamento, Feigenbaum (1992) alega que o princípio

subjacente na concepção global da qualidade e sua diferença básica com relação a todos os outros conceitos, é que, para proporcionar eficiência verdadeira, o controle deve ser iniciado com uma identificação de exigências do consumidor com relação à qualidade e ser concluído somente no momento em que o produto se encontrar nas mãos de um cliente que fique satisfeito.

Desde os tempos de Frederick W. Taylor, vários modelos gerenciais foram desenvolvidos e usadas nos diferentes tipos de organizações. Cada novo modelo gerou consideráveis melhorias nas formas de gerenciamento das organizações. Entretanto, apenas nas últimas décadas o sistema educacional brasileiro parece ter iniciado o processo de gestão da qualidade, como o desenvolvimento de indicadores educacionais como Índice de Educação Básica IDEB (desenvolvido em 2007), Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes de Ensino Superior - ENADE (iniciado em 2004). Quem se dedicar à análise do funcionamento dos sistemas de ensino acabará por encontrar provas evidentes de que a gestão é uma componente decisiva da eficácia escolar. Em virtude dessa situação, torna-se necessário adotar uma postura gerencial moderna e efetiva, para que os ventos da mudança criativa e inovadora soprem também para a educação.

A Gestão da Qualidade Total (GQT), exemplo de excelência gerencial nas empresas, pode contribuir de maneira significativa para a melhoria do ensino no Brasil. As reais mudanças começam a ocorrer quando os princípios, conceitos e fundamentos da GQT se integram à cultura da organização, ao dia-a-dia das pessoas e dos processos organizacionais. Os verdadeiros benefícios oriundos da GQT são parte natural da implementação de um programa de melhoria contínua e consistente, que ajuda a desenvolver o potencial e as qualidades dos profissionais da educação e do trabalho que realizam.

Segundo Antônio *et al* (2016), a prática da GQT influencia a competitividade empresarial em diversos aspectos:

- Possibilita à empresa diferenciar-se e competir com base em produtos livres de defeitos, produtos confiáveis, entregas confiáveis e rápidas etc.;
- As atividades operacionais passam a contribuir também com eficácia. Uso de critérios de desempenho com base em indicadores de qualidade, confiabilidade, prazos, flexibilidade etc.;
- A definição de foco e da busca da excelência no que realmente importa – a satisfação do cliente;
- As atividades operacionais passam a ser pensadas de forma estratégica.

Com a GQT, as possibilidades de sincronização das estratégias de competição e as estratégias de operação são facilitadas, particularmente em termos dos atuais objetivos estratégicos de *performance* dos ambientes operacionais. Dessa forma, acredita-se que ela deve ser estendida para o ambiente educacional.

Este ponto de vista é corroborado por Canterle e Favaretto (2008, p.395) quando afirma que a universidade (e, por analogia, as IESs):

“é uma instituição de serviços e como espaço de geração e disseminação de conhecimento para a sociedade, isso através da pesquisa, do ensino ou da extensão de atividades para o desenvolvimento comunitário. Caso seus processos deixem de apresentar indicadores satisfatórios, é preciso agir para avaliar, controlar e melhorá-los”.

Dessa maneira, no contexto universitário, há a figura das comissões próprias de avaliação (CPAs) como instrumento para formulação e melhoria das políticas institucionais e da gestão das IESs (Peixoto, 2009). Além disso, entende-se que o papel dos gestores (sejam eles reitores, pro-reitores ou gestores docentes) podem influenciar na qualidade da educação oferecida (e.g. Baibich e Sommer, 2012). Entretanto, muito se concentra ainda no desempenho a partir de indicadores do Ministério da Educação – MEC como ENADE (como em Vasconcelos *et al.* 2011) e no papel das CPAs (e.g. INEP, 2013).

No referencial teórico levantado, percebeu-se que a literatura se preocupa com o papel das avaliações das comissões próprias de avaliação (CPAs) bem como das avaliações institucionais (Peixoto, 2009; INEP, 2013); do papel dos gestores-docentes na gestão dos cursos (Kanan e Zanelli, 2011) ou dos campi universitários (Fernandes e Guimarães, 2016); as competências gerenciais requeridas aos gestores, sejam eles reitores (Ésther, 2011) ou gestores-docentes (Fernandes e Guimarães, 2016); bem como o papel dos pró-reitores na garantia de qualidade do ensino de graduação (Baibich e Sommer, 2012).

Além disso, há estudos que investigam a responsabilidade social da educação superior sob a ótica da Unesco (Calderón, Pedro e Vargas, 2011) e as dimensões de qualidade na gestão universitária do conhecimento na perspectiva da pesquisa e da inovação tecnológica (Franco, Afonso e Bordignon, 2012).

No que diz respeito a modelos de gestão, Canterle e Favaretto (2012) desenvolvem um modelo baseado na proposição de indicadores de qualidade universitária. O embasamento conceitual no qual os autores se basearam está apresentado na figura 1.

Modelo	Pressupostos
Srikanthan e Dalrymple	Normas de comportamento de organização, baseados em comunidades aprendizes. Envio da qualidade em diferentes áreas: serviços e funções educacionais. ‘Visão compartilhada’ desenvolvida com a comunidade após extensivo diálogo. Percepção dos estudantes como o último cliente nas áreas de entrega de serviços. Enfoque em padrões de variação na experiência de aprendizagem, em lugar de métodos pedagógicos.
Harvey e Knight	Qualidade orientada para a aprendizagem (e não para o ensino) Foco claro no conhecimento do estudante/ aprendizagem-orientada Usa padrões para avaliar a valorização dos estudantes. Qualquer conceito de qualidade que busque a perfeição é falho

Modelo	Pressupostos
Haworth e Conrad	Qualidade é organizada em torno da idéia central do estudante, corpo docente e administrativo comprometido em ensino e aprendizagem.  Stakeholders principais (os acadêmicos, estudantes e administradores) envolvidos e comprometidos  Culturas participativas.  Ensino e aprendizagem interativo: diálogo crítico. Necessidade de programas conectados, articulados.  Recursos adequados.  Conectar o que estudantes estão aprendendo com situações tangíveis do mundo exterior.
Mergen, Grant e Widrick	Gerenciamento de Qualidade (QM), em três parâmetros: qualidade do projeto, qualidade da conformidade e qualidade de desempenho.  Integração dos conceitos (parâmetros) conhecidos.  Parâmetros estão relacionados por um mecanismo de feedback, cuja articulação conduz à melhoria contínua.  Os parâmetros se relacionam ao ensino, à pesquisa e operações. Definir clientes e seus requisitos  Melhoria dos processos usados para entrega de serviços aos clientes e medindo sua satisfação. Melhoria de processo, incluindo recrutamento, conselho, registro, ensino de alunos. Iniciativa da academia de integrar qualidade dentro do seu currículo.  Uso do princípio de feedback de QM entre docentes e solicitem feedback dos estudantes. Consistente com a trilogia de Juran.
Munasinghe e Jayawardena	Determinado pelo governo, mais apropriado para implantação na área cognitiva.  Estruturado para possibilitar regular feedback de exigências nacionais, e a qualidade dos resultados da instituição (alunos graduados) juntar os dois com um CQI.  Estruturado para realizar interações com indústria, comércio, governo e setores de serviço. Amplo, abrangente no ensino.  Melhoria contínua da qualidade. Feedback permanente e regular do pessoal acadêmico, estudantes, comitê consultivo, categorias profissionais e diplomados.  Articulado com representações de segmentos do ambiente externo Identificar pessoas para o comitê consultivo com o cuidado de que tenham conhecimento, experiência e comprometimento. Padrões de qualidade alinhando resultados com a demanda.
Jones	Relaciona as medições de qualidade de ensino em nível de entrega/transmissão às medições administrativas. Necessidade de pensamento sistêmico.  Feedback do estudante que foque somente medidas quantitativas, com o potencial de fornecer um retrato impreciso da qualidade do processo educacional. Existe um feedback qualitativo rico coletado (formal e informal) no ponto de entrega educacional. descentralizando que não é fácil sumarizar para uso a nível central.  Articula qualidade de ensino, aprendizagem e pesquisa. Excelência do ensino centrado no estudante. Incentivo à divulgação dos resultados da experiência.
Watty	Foca no impacto das diferentes concepções de qualidade por diferentes stakeholders, destacando a influência de cada concepção de qualidade na sua avaliação.  Gerenciamento da qualidade orientado por práticas do setor privado.  Avaliação externa pelo governo e interna por si mesma.  Tensão entre administradores universitários e acadêmicos. Acadêmicos concebem qualidade diferentemente de outros stakeholders, valorando diferentes aspectos àqueles medidos e monitorados sob o regime atual da qualidade.
Tucci e Cellesi	Foi definido para a avaliação de qualidade dos cursos de graduação, visando satisfazer exigências internas e externas, além de tentar adequar elementos típicos do modelo do ISO. Foca em 5 dimensões básicas:  a) Sistema de administração: identificação e descrição dos processos;

Modelo	Pressupostos
	b) Individuação dos <i>stakeholders</i> junto com suas respectivas exigências; c) Recursos: demonstração da adequação dos recursos humanos e físicos, d) Processo educacional: assemelha-se ao “sistema de transformação” com a definição dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> , ou seja, a sequência exata das atividades, responsabilidades e recursos usados no processo pedagógico. e) Resultados, análises e melhorias. A avaliação é feita em 2 etapas, auto-avaliação e avaliação externa.
Finnie e Usher	Apresenta-se com uma estrutura de inputs-outputs, composta por 4 fatores fundamentais: a) Características iniciais: representam as características e as habilidades de estudantes entrantes, que afetam a qualidade da experiência educacional e resultados finais. b) <i>Inputs</i> de aprendizagem: incorpora todos os fatores teoricamente controláveis pelo sistema educacional e que representam alavancas políticas potenciais para afetar a qualidade da instrução. c) <i>Outputs</i> da aprendizagem: representam o “conjunto de habilidades” ou as características dos graduados que o sistema educacional potencialmente produz. d) Resultados finais: representam “os fins últimos” com os quais o sistema educacional pode contribuir, incluindo satisfação com o emprego e rendas a outros resultados julgados importantes para indivíduos e para a sociedade A noção de qualidade foca o valor-adicionado da experiência educacional, ou seja, o resultado final é decorrente dos efeitos do resultado de aprendizagem.

Fig. 1. Embasamento conceitual de Carterle e Faverato  
Fonte: Adaptado de Canterle e Faverato (2012)

Dessa forma, o modelo proposto neste trabalho tem relação com os pressupostos de Canterle e Faverato (2012), Haworth e Conrad (1996) e Mergen, Grant e Widrick (2000), Tucci e Cellesi (2006), conforme apresentado na Seção III.

### III. PROPOSTA DE UM MODELO DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA (MGU)

O MGU parte da premissa de que avaliar o negócio de forma aberta, honesta e com base em fatos é a única maneira de se identificar as prioridades corretas e as áreas que exigem melhorias vitais, além de assegurar que se segue as etapas apropriadas para a resolução dessas questões.

O MGU proposto é composto de 6 categorias e 21 elementos. As categorias e os elementos representam práticas e resultados que evoluem com o passar do tempo. O modelo é uma representação visual dos elementos-chave necessários para gerenciar ou conduzir negócios associados à educação. Ele ajuda o corpo gerencial a obter uma compreensão adequada dos fatores que deverá avaliar na implementação dos processos para alcançar as metas do Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI).

Com o objetivo de orientar o corpo gerencial a estruturar uma avaliação de seu negócio, o MGU foi desenhado para se encaixar nos processos operacionais de cada IES. Esse desenho permite que o corpo gerencial, ao utilizar o MGU como modelo de avaliação, faça a correlação de elementos específicos do modelo aos seus processos de trabalho, objetivos, medições e comportamentos.

As seis categorias que formam o MGU são:

1. Liderança;
2. Recursos humanos;
3. Gestão de processos de negócio;
4. Foco no cliente (mercado);
5. Sistemas e ferramentas de negócio;
6. Resultados.

A Figura 2 sintetiza o MGU indicando as inter-relações essenciais entre as categorias. Por exemplo, a categoria de Foco no Cliente (Mercado) está no centro do modelo — todas as outras categorias se interceptam ali, e os Resultados de Negócio fluem a partir dessa categoria. É importante destacar que, por se tratar de uma análise de uma Instituição de Ensino Superior, os processos de negócio incidem sobre o ensino, a pesquisa e a extensão (atividades que são indissociáveis).

Além disso, a Liderança, no topo do modelo, orienta todas as demais atividades por meio do pessoal. Considera-se que somente por meio do “pessoal” pode-se fazer com que os processos e ferramentas ganhem vida para dar suporte ao cliente.

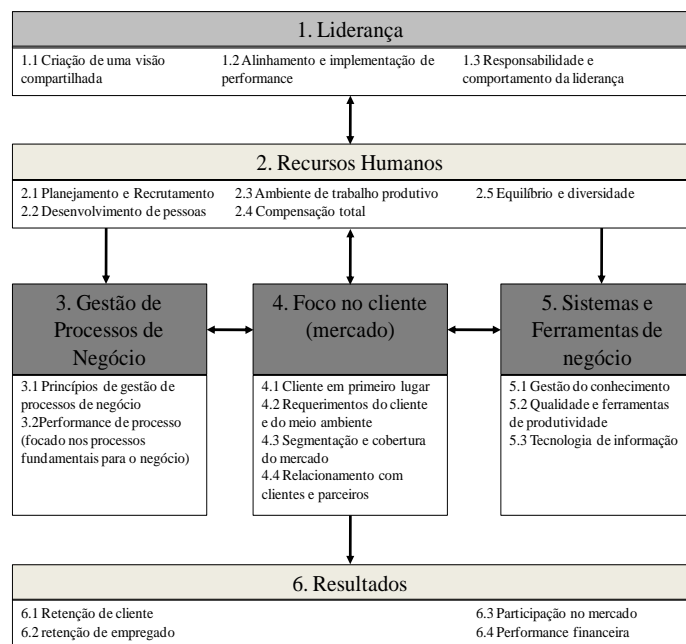


Fig. 2. Modelo de Gestão Universitária (MGU): visão geral

O MGU identifica o estado ou critérios desejados para cada elemento, assim como sugere formas de medições e processos que pode ser utilizado para avaliar práticas gerenciais. A Figura 3 apresenta estas características para a categoria Liderança. Nesta categoria, o pessoal deve assumir a responsabilidade de liderar a “empresa” para conquistar produtividade e resultados de negócios a nível internacional

Núm.	Elemento	Estado Desejado	Experimente estas formas de medição e processos/ações
1.1	Criação de uma Visão Compartilhada	O pessoal da IES cria, comunica e inspira uma visão compartilhada	• Analise as questões da Pesquisa de Satisfação e Motivação do Empregado

		que permite que a IES alcance resultados de negócio extraordinários e de classe- mundial	(PENTA) que demonstrem que os empregados compreendem e aceitam a intenção e o direcionamento estratégicos. • Conduza pesquisas sobre liderança. • Realize mesas-redondas com os empregados. • Utilize outras medições
1.2	Alinhamento e Implementação de Performance	Todo o pessoal da IES usa uma abordagem disciplinada para definir, estabelecer e atingir a visão, a missão, as metas, as estratégias, os objetivos e os poucos elementos vitais exigidos para atingir um desempenho extraordinário e de classe-mundial. O pessoal da IES usa Gestão por Fatos, <i>business assessments</i> , e <i>benchmarking</i> da concorrência para gerir seus processos.	• Utilize medições detalhadas e não superficiais dos objetivos e metas dos empregados. • Analise as questões da Pesquisa de Satisfação e Motivação do Empregado (PENTA) que demonstrem que os empregados compreendem como estão vinculados às metas de sua organização ou área. • Demonstre que os objetivos anuais são estabelecidos a partir de avaliações baseadas em fatos, diagnósticos e benchmarking da concorrência. • Procure evidências de que o desempenho versus os objetivos seja anualmente avaliado nas revisões do Plano Operacional e das estratégias. • Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.
1.3	Responsabilidade e Comportamento da Liderança	O pessoal da IES se considera responsável pela mudança, é modelo de papel em liderança e atua com responsabilidade como cidadãos da corporação e do mundo.	• Procure evidências de que o Modelo de Liderança esteja integrado aos indicadores de desempenho da unidade e ao planejamento de sucessão. • Certifique-se de que os gerentes que atingem o status de modelo de papel continuem se desenvolvendo em sua unidade e também dentro da organização. • Monitore resultados da PENTA. • Realize Pesquisas sobre as Habilidades de Liderança e Diagnóstico de Equipe. • Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.

Fig. 3. Características para a categoria Liderança

Na categoria Recursos Humanos, a força de trabalho da IES (docentes e administrativos) deve estar comprometida com resultados de negócios de alta *performance*. As pessoas assumem responsabilidade pela obtenção desses resultados e se esforçam para continuar aumentando a produtividade para os clientes (mercado), matéria-prima (alunos) e para a própria IES. O Planejamento de Recrutamento e Seleção define requisitos de competência e processos de seleção para atender necessidades de negócios, conforme determinadas e reguladas pelo mercado. Esses comportamentos criam um ambiente de

trabalho que incentiva e valoriza a delegação de poderes, o desenvolvimento e a diversidade. Os empregados são compensados e reconhecidos com base em suas contribuições e resultados de negócio. A Figura 3 apresenta o estado ou critérios desejados para cada elemento, assim como sugere formas de medições e processos que pode ser utilizado para avaliar práticas gerenciais desta categoria.

Núm.	Elemento	Estado Desejado	Experimente estas formas de medição e processos/ações
2.1	Planejamento e Recrutamento	Os recursos humanos exigidos para atender necessidades atuais, emergentes e futuras estão compreendidos no processo de planejamento do negócio. Os processos de seleção são baseados em requisitos de competência e asseguram um perfil de contratação diferenciado e de alta qualidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que estratégias de contratação e atividades de recrutamento sejam desenvolvidas para atender seus requisitos de recursos de curto e longo prazo.</li> <li>• Anuncie aberturas de vagas e processos de seleção, garantindo que a equipe interna tenha a chance de tirar vantagem de oportunidades, e que você tenha a chance de valorizar candidatos de dentro da empresa.</li> <li>• Garanta que estratégias de contratações externas sejam desenvolvidas e implementadas para que você possa recrutar candidatos com as competências essenciais, ou seja, conhecimento, habilidades e comportamentos.</li> <li>• Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.</li> </ul>
2.2	Desenvolvimento de Pessoas	O ambiente reconhece a necessidade de aprendizado contínuo e o valor de uma organização voltada para o aprendizado em meio ambiente dinâmico. O desenvolvimento de pessoas é gerenciado de modo a garantir a disponibilização de uma base de candidatos qualificada e diversificada para atender as necessidades do negócio. Os empregados assumem a principal responsabilidade de aprender e maximizar seu potencial adquirindo as competências necessárias para seu trabalho.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garanta que os processos de planejamento de negócios identifiquem exigências atuais e futuras para certos conhecimentos, habilidades e comportamentos.</li> <li>• Tanto empregados quanto gerentes devem utilizar ferramentas individuais de avaliação por fatos para priorizar, mapear e implementar planos de desenvolvimento.</li> <li>• Garanta que os planos de desenvolvimento de empregados e gerentes incluam a aquisição de competências através de experiências rotacionais, laterais e entre funções/ organizações. Isso permitirá que eles aumentem seu conhecimento do negócio e suas habilidades de liderança.</li> <li>• Certifique-se de implementar o Planejamento de Sucessão e o processo de PRG (Planejamento de Recursos Gerenciais). Ao fazer isso, espera-se alcançar candidatos para funções-chave com o perfil necessário.</li> <li>• Analise as questões da</li> </ul>

			PENTA sobre desenvolvimento de pessoas. • Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.
2.3	Ambiente de Trabalho Produtivo	Um ambiente de trabalho onde exista delegação de poderes ( <i>empowerment</i> ), oferecendo direcionamento claro, comunicação, liberdade responsável, limites definidos e <i>feedback</i> constante. Os empregados se sentem valorizados e respeitados por suas contribuições. Eles são estimulados, motivados, e assumem responsabilidade de satisfazer os requerimentos do cliente e atingir resultados de negócios de alta <i>performance</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procurar evidências de que empregados e equipes compreendam os elementos-chave que criam um ambiente de trabalho com delegação de poderes.</li> <li>• Habitue-se a usar planos de ação junto a cada grupo e no nível da organização. Dessa maneira, pode-se trabalhar e eliminar <i>gaps</i>. Isso também demonstra seu compromisso com a construção de um ambiente de trabalho com delegação de poderes.</li> <li>• Examine as questões da PENTA que medem os elementos-chave para um ambiente de trabalho com delegação de poderes.</li> <li>• Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.</li> </ul>
2.4	Compensação Total	A compensação total (ou seja, salário fixo, salário variável e benefícios) para todos os empregados está vinculada à performance individual e aos resultados da IES. O Reconhecimento e a Recompensa reforçam os comportamentos, realizações individuais e colaborações que dão suporte a metas e objetivos corporativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que a compensação total seja adequadamente competitiva com o meio ambiente, garantindo que reflita as responsabilidades, a contribuição, a competência e a <i>performance</i> do indivíduo.</li> <li>• Procure evidência de que recompensas flexíveis e variáveis reforcem o elo entre contribuição e resultados de negócios.</li> <li>• Examine as questões da PENTA que medem a eficiência das ações de Compensação Total.</li> <li>• Procure evidência de que programas de reconhecimento sejam usados de forma eficiente e equitativa para recompensar contribuições extraordinárias de indivíduos e de equipes.</li> <li>• Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.</li> </ul>
2.5	Equilíbrio da Diversidade	Os comportamentos e as ações individuais criam um ambiente que equilibra a diversidade no sentido mais amplo (idade, raça, sexo, orientação sexual, cultura, estilo de trabalho e modo de pensar). Todos os empregados buscam e utilizam diferentes opiniões para ajudar a desenvolver novas soluções, idéias criativas e agregar valor para os clientes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências que indiquem o uso adequado da delegação de poderes (<i>empowerment</i>) e a abertura nas comunicações fornecem um ambiente que equilibre a diversidade.</li> <li>• Procure evidências de que as práticas locais incentivem opiniões, pensamentos e perspectivas diversas.</li> <li>• Procure evidências de que as metas de diversidade estejam sendo atingidas.</li> <li>• Procure evidências de que as comunicações constantes com a força de trabalho forneçam <i>feedback</i>, assim como identifiquem e ajudem a</li> </ul>

			levantar questões. • Examine as questões da PENTA que medem os comportamentos do grupos de trabalho e a igualdade entre a pessoas. • Utilize outras medições ou indicadores de processos adequados.
--	--	--	---

Fig. 4. Características para a categoria Recursos Humanos

Na categoria Gestão de Processos de Negócio, todos os processos de negócios devem estar voltados para o cliente, com inter-relacionamento de funções e baseados em valores. O pessoal da IES deve se esforçar constantemente para compreender e simplificar seus processos, criar conhecimento, eliminar desperdício e abandonar o trabalho improdutivo. A Figura 5 apresenta o estado ou critérios desejados para cada elemento, assim como sugere formas de medições e processos que pode ser utilizado para avaliar práticas gerenciais desta categoria.

Núm.	Elemento	Estado Desejado	Experimente estas formas de medição e processos/ações
3.1	Princípios de Gestão dos Processos de Negócio	Cada funcionário da IES usa princípios de gestão de negócios para agregar valor para nossos clientes e estabelecer a base para compartilhar conhecimento, simplificar processos e melhorar a produtividade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que os princípios básicos de gestão dos processos de negócio (propriedade, documentação, medição e inspeção do processo) estejam sendo aplicados por toda a IES.</li> <li>• Procurar evidências de que as relações de as interdependências funcionais sejam conhecidas e compreendidas por todas as pessoas envolvidas.</li> <li>• Procure evidências de que as melhorias nos processos estão ocorrendo. Garanta que os investimentos em tecnologias novas e existentes, a tomada de decisões por fatos, a simplificação e a inovação de processos estejam levando a ganhos na velocidade dos processos, na produtividade e no valor para o cliente.</li> <li>• Utilize outras medições ou indicadores e processos adequados.</li> </ul>
3.2	Performance do Processo	Os processos-chave dentro da organização são completamente compreendidos e medidos rigorosamente. Eles apresentam melhorias constantes no tempo de entrega, no custo e na produtividade em conformidade a <i>benchmarks</i> estabelecidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Documente medições de processo que demonstrem que os processos mais importantes (3 a 5 no máximo) exibem melhorias contínuas na velocidade, na produtividade e no valor para o cliente.</li> </ul>

Fig. 5. Características para a categoria Gestão de Processos de Negócios

Na categoria Foco no Cliente (mercado), deve-se estar inteiramente ligado ao meio ambiente e aos clientes atuais e potenciais, pois são estes que definem o negócio. As soluções fornecem valor que permite ao cliente atingir suas metas de negócios. O cliente passa a ver a IES como estrategicamente relevante para os seus negócios. A Figura 6 apresenta o estado ou critérios desejados para cada elemento, assim como sugere



formas de medições e processos que pode ser utilizado para avaliar práticas gerenciais desta categoria.

Núm.	Elemento	Estado Desejado	Experimente estas formas de medição e processos/ações
4.1	O Cliente em Primeiro Lugar	Nosso pessoal assume a propriedade do Cliente. Sua prioridade máxima? Fazer o que é certo para o cliente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que o pessoal esteja se comportando de uma forma que demonstre que a Retenção do Cliente (externo) é sua prioridade máxima.</li> <li>• Analise as questões referentes a relacionamento com o cliente.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores adequados (ex., tempo de resposta para os problemas do cliente, comentários/cartas do cliente etc.).</li> </ul>
4.2	Requerimentos do Cliente e do Mercado	O conhecimento do cliente e do meio ambiente é capturado e traduzido em um portfólio completo de soluções e produtos de valor agregado que agradam em cheio ao cliente. Não só as solicitações explícitas são compreendidas, como também as solicitações latentes e futuras são constantemente sondadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que bancos de dados de clientes e de variáveis do meio ambiente sejam usados para capturar e analisar tendências do ambiente, necessidades do cliente e ofertas da concorrência.</li> <li>• Procure evidências de que ferramentas de qualidade e pesquisas sejam usadas para capturar a “Voz do Cliente” e traduzi-las em produtos, serviços e soluções inovadoras e de classe mundial.</li> <li>• Procure evidências de que tendências tecnológicas e novas ofertas da concorrência sejam inteiramente incluídas ao se estudar o cliente e de ambiente.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores adequados.</li> </ul>
4.3	Segmentação e Cobertura de Mercado	A segmentação de mercado nos oferece uma compreensão clara dos requerimentos do ambiente global e nos permite fornecer produtos, serviços e soluções inovadoras. Segmentos selecionados são escolhidos como metas através dos programas de marketing, canais e parceiros mais adequados, para oferecer um crescimento de receita lucrativo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que exista uma segmentação sólida dos clientes e do ambiente.</li> <li>• Procure evidências de que os segmentos de cliente e do ambiente estejam claramente definidos e sejam utilizados em processos de planejamento estratégico para priorizar investimentos em produtos, serviços e soluções.</li> <li>• Procure as metas que sejam definidas para mercados específicos, com base na segmentação.</li> <li>• Procure evidências de que os mais eficientes programas de marketing e canais estejam sendo utilizados.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores adequados.</li> </ul>
4.4	Relacionamento com Clientes e com Parceiros	Relações duradouras, responsáveis e consistentes com clientes e parceiros existem ao longo de todas as fases do Ciclo de Vida do Cliente. Clientes atuais e novos nos reconhecem como o melhor parceiro e fornecedor no setor. Eles estão ansiosos para fazer negócio conosco, sua lealdade é conquistada e mantida, e eles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que os processos de relacionamento com os clientes e com os parceiros funcionam de forma a antecipar e atender as necessidades dos clientes.</li> <li>• Procure evidências de que dados de tendências pertinentes à satisfação do cliente, à lealdade e ao ambiente sejam registrados, analisados, inspecionados e implementados no processo de gestão.</li> <li>• Procure evidências de que todas as perguntas, problemas e reclamações sejam assumidas, resolvidas e concluídas de acordo com as expectativas do</li> </ul>

		demonstram entusiasmo na hora de nos recomendar a outros.	cliente buscando atingir o desempenho classe-mundial. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que um conjunto de processos formais seja utilizado para identificar, medir, rastrear e resolver todos os aspectos de nossa performance conforme a percepção de nossos clientes e parceiros.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores adequados.</li> </ul>
--	--	---	---

Fig. 6. Características para a categoria Foco no Cliente (mercado)

Na quinta categoria (Sistemas e Ferramentas de Negócios), é onde se atinge a excelência nos negócios através da criação, do uso e da reutilização do conhecimento pessoal e organizacional, do uso intenso e rigoroso de ferramentas de gestão por fatos e melhoria de processos, e sistemas de informação classe-mundial disseminados pela IES. A Figura 7 apresenta o estado ou critérios desejados para cada elemento, assim como sugere formas de medições e processos que pode ser utilizado para avaliar práticas gerenciais desta categoria.

Núm.	Elemento	Estado Desejado	Experimente estas formas de medição e processos/ações
5.1	Gestão do Conhecimento	O conhecimento individual, de equipe e da organização são compartilhados e gerenciados para constantemente criar valor agregado, inovação, aprendizado e alcançar os resultados de negócio esperados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que o pessoal da IES compartilhe seu conhecimento espontaneamente, de modo verbal ou através de documentos.</li> <li>• Procure evidências de que o conhecimento esteja à disposição de todos e que ninguém esteja “segurando” informações.</li> <li>• Procure evidências de que estejam sendo usados sistemas para gerenciar e compartilhar conhecimento.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores adequados.</li> </ul>
5.2	Ferramentas de Qualidade e Produtividade	Ações baseadas em fatos e melhorias nos processos são alcançadas através do uso intenso e rigoroso de ferramentas de qualidade e produtividade para acelerar nossa resposta aos clientes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que novas contratações tenham completado o programa de treinamento da IES.</li> <li>• Procure evidências de que as ferramentas de qualidade e produtividade sejam usadas de modo intenso e rigoroso por todos os funcionários da IES.</li> <li>• Procurar evidências do uso de Gestão por Fatos e de ferramentas de qualidade nos processos gerenciais.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores apropriados.</li> </ul>
5.3	Tecnologia da Informação	A tecnologia é aplicada para compartilhar conhecimento do negócio globalmente, suportar mudanças de processos e viabilizar a produtividade nos negócios e a pronta reação à concorrência.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procure evidências de que uma infra-estrutura classe-mundial (aplicações, dados, gestão de tecnologia e documentos) esteja alinhada com os imperativos de negócio da IES.</li> <li>• Procure evidências de que soluções sejam criadas e implementadas para garantir a disponibilidade em tempo das informações precisas.</li> <li>• Procure evidências de os investimentos feitos em gestão de informação estejam alinhados com a estratégia e os objetivos de negócio da corporação.</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procurar evidências de que os sistemas de gestão de informação sejam implementados e operados a custo de <i>benchmark</i>.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores apropriados.</li> </ul>
--	--	--	---

Fig. 7. Características para a categoria Sistemas e Ferramentas de Negócios.

Na última categoria (Resultados), a IES lidera o mercado fornecendo profissionais (produtos) que agregam valor à experiência do cliente (sociedade e empresas do mercado). Essas ofertas devem satisfazer completamente os requerimentos atuais, futuros e latentes do cliente (mercado). Com isso, os resultados de negócios demonstrarão que a Instituição estará entre as maiores e as mais produtivas no mercado de educação. A Figura 8 apresenta o estado ou critérios desejados para cada elemento, assim como sugere formas de medições e processos que pode ser utilizado para avaliar práticas gerenciais desta categoria.

Núm.	Elemento	Estado Desejado	Experimente estas formas de medição e processos/ações
6.1	Lealdade do Cliente	Os clientes (empresas do mercado) e parceiros da IES são leais e demonstram sua lealdade tendo constantemente suas necessidades de pesquisa e educação atendidas com produtos, soluções e serviços, assim como nos recomendando a outros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examine os resultados da pesquisas de satisfação de clientes: percentual de satisfação geral e percentual em cada atributo satisfação.</li> <li>• Examine o nível de satisfação de clientes pós-eventos.</li> <li>• Examine o grau de lealdade dos clientes, através (intenção de compra e recomendação).</li> <li>• Examine o nível de retenção de clientes, através do nível de cancelamento de contratos (evasão).</li> <li>• Examine o crescimento da participação no mercado.</li> <li>• Utilize o processo de Gestão da Melhoria da Satisfação do Cliente.</li> <li>• Garanta que outras medições ou indicadores adequados sejam examinados</li> </ul>
6.2	Lealdade do Empregado	Os empregados da IES são dedicados e leais. Eles demonstram sua dedicação e lealdade atingindo produtividade de classe mundial, baixo <i>turnover</i> e índices elevados de Satisfação e Motivação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analise os resultados da Penta.</li> <li>• Promova <i>feedback</i> através de mesas-redondas.</li> <li>• Monitore os níveis de <i>turnover</i>.</li> <li>• Certifique-se de que medidas de produtividade individuais estejam sendo utilizadas.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores apropriados.</li> </ul>
6.3	Participação no Mercado	A IES lidera o ranking de participação no mercado em cada segmento de mercado que atende.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examine a participação da receita no mercado.</li> <li>• Examine a participação de instalações.</li> <li>• Examine a nossa participação no mercado por segmento.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores apropriados.</li> </ul>
6.4	Performance Financeira	A IES atinge um nível superior em crescimento de receita, margens de lucro e fluxo de caixa, o que resulta em um retorno acima da média para os acionistas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Examine o crescimento da receita, as margens de lucro, o retorno sobre as vendas, os lucros.</li> <li>• Examine o rendimento por ação (futuro).</li> <li>• Examine o Ciclo de Conversão de Caixa – Contas</li> </ul>

			a receber – Inventários x Receita. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Examine as despesas operacionais.</li> <li>• Use outras medições ou indicadores apropriados.</li> </ul>
--	--	--	--

Fig. 8. Características para a categoria Resultados

O Modelo de Gestão Universitária é uma ferramenta que auxilia a organização a contemplarem seus negócios de diferentes pontos de vista. O uso do MGU como uma ferramenta de avaliação permite a integração dos elementos fundamentais, dos princípios e das prioridades de “negócio”. Isso é especialmente importante para equipes que precisam olhar suas organizações de uma perspectiva mais ampla e sejam responsáveis por um grande número de resultados dos negócios.

Os elementos do MGU que não tiverem uma *performance* esperada irão exigir uma inspeção mais profunda e um planejamento de recuperação. As equipes deverão utilizar roteiros de gestão por fatos para acompanhar o desempenho e impor velocidade nas análises de *gaps*, resolução de problemas, tomada de decisões e planejamento de melhorias.

#### IV. CONCLUSÕES

Os programas de qualidade aplicados à educação envolvem mais variáveis que os outros ramos de atividade, pelo simples fato de a matéria-prima ser o próprio aluno, o produto final ser o profissional qualificado e o cliente final o mercado de trabalho. Esta matéria-prima a ser transformada possui características que a diferencia de qualquer outra, pois a mesma exala querer, motivação, sentimento e pensar. Isso de certa forma acaba levando as IES se confundirem na definição do real cliente.

Talvez devido às reais deficiências do sistema educacional superior do Brasil, as IES não se veem incentivadas a implementar modelos de gestão avançados. No entanto, acredita-se que a aplicação do MGU, seja em IESs públicas e/ou privadas, possam auxiliar no alcance de vantagem competitiva.

Como limitação do trabalho, cita-se o fato de não ter sido feita nenhuma aplicação do MGU para verificação e comparação dos resultados antes e após a utilização da ferramenta.

Dessa forma, como proposições para novos estudos, indica-se a aplicação do MGU em instituições públicas e privadas para validação do método, bem como para o gerenciamento do processo educacional, comparando os resultados obtidos antes e após a aplicação do mesmo. Além disso, como se trata de uma ferramenta gerencial, torna-se relevante desenvolver planos e métricas para aplicações nos níveis táticos e operacionais.

#### REFERENCIAS

- [1] N. S. ANTONIO, A. TEIXEIR and A. ROSA, “Gestão da Qualidade – de Deming ao Modelo de Excelência da EFQM”. Editora Silabo, 2ª edição, Lisboa, 2016.



- [2] T. M. Baibich and L. H. Sommer, "Responsabilidade institucional com a qualidade do ensino de graduação: pró-reitores em cena", *Avaliação*, Campinas; Sorocaba, SP, vol. 17, n. 1, pp. 87-100, mar. 2012
- [3] A. I. Calderón, R. F. Pedro and M. C. Vargas, "Responsabilidade social da Educação Superior: a metamorfose do discurso da UNESCO em foco", *Comunicação Saúde Educação*, vol.15, n.39, pp.1185-98, out./dez. 2011
- [4] N. M. G. Canterle and F. Favaretto, "Proposta de um modelo referencial de gestão de indicadores de qualidade na instituição universitária", *Ensaio: aval. pol. públ. Educ.*, Rio de Janeiro, vol. 16, n. 60, pp. 393-412, jul./set. 2008.
- [5] J. DELORS, "Educação: um tesouro a descobrir". 3ª edição. São Paulo: Cortez; Brasília, DF: MEC: UNESCO, 1999
- [6] A. B. Éster, "As competências gerenciais dos reitores de universidades federais em Minas Gerais: a visão da alta administração", *Cadernos EBAPE.BR*, vol. 9, Edição Especial, artigo 10, Rio de Janeiro, Jul. 2011
- [7] M. L. Fernandes and V. A. Guimarães, "Percepção dos diretores e vice-diretores de unidades acadêmicas sobre a necessidade de capacitação em gestão: estudo de caso na Universidade Federal Fluminense", *Trabalho final do curso de especialização em Gestão Pública*, Universidade Federal Fluminense, 2016.
- [8] M. E. D. P. Franco, M. R. Afonso and L. S. Bordignon, "Gestão universitária: qualidade, investigação científica e inovação educacional", *Revista GUAL*, Florianópolis, vol. 5, n. 1, pp. 83-103, jan./fev./mar./abr. 2012.
- [9] A. V. FEIGENBAUM, "Controle da qualidade total", Makron Books, São Paulo, 1992.
- [10] R. Finnie and A. Usher, "Measuring the quality of post-secondary education: concepts, current practices and a strategic plan", Ottawa: Canadian Policy Research Networks Inc., 2005.
- [11] L. Harvey and P. T. Knight, "Transforming Higher Education". Buckingham: SRHE: Open University Press, 1996.
- [12] J. G. Haworth and C. F. Conrad, "Reenfoque de la evaluación de la calidad en relación con el aprendizaje de los estudiantes", San Francisco, CA: Jossey Bass Publishers, 1996. (New Directions for Institutional Research; No. 92).
- [13] INEP, "Anais dos seminários regionais sobre autoavaliação institucional e comissões próprias de avaliação (CPA)", Diretoria de Avaliação do Ensino Superior, Brasília, 2013.
- [14] S. JONES, "Measuring the quality of Higher Education: linking teaching quality measures at the delivery level to administrative measures at the university level", *Quality in Higher Education*, London, vol. 9, n. 3, Nov. 2003.
- [15] L. A. Kanan and J. C. Zaneli, "Envolvimento de docentes-gestores com o trabalho no contexto universitário", *Psicologia & Sociedade*, vol. 23, n. 1, pp. 56-65, 2011.
- [16] E. Mergen, G. Delvin and S. M. Widrick, "Quality management applied to higher education", *Total Quality Management & Business Excellence*, vol. 11, n. 3, May 2000.
- [17] L. Munasinghe and P. Jayawardena, "Continuous quality improvement in Higher Education: a model for Sri Lanka", *Quality in Higher Education*, London, vol. 5, n. 1, 1999.
- [18] M. C. L. Peixoto, "A avaliação institucional nas universidades federais e as comissões próprias de avaliação", *Avaliação*, Campinas; Sorocaba, SP, vol. 14, n. 1, pp. 9-28, mar. 2009.
- [19] G. Srikanthan and J. F. Dalrymple, "Developing a holistic model for quality in higher education". *Quality in Higher Education*, London, vol. 8, n. 3, p. 215-224, Nov. 2000.
- [20] M. Tucci. And L. Cellesi, "Higher Education quality in Florence University: first analysis of a self assessment model implementation". Florence, Italy: Florence University, 2006.
- [21] N. V. C. Vasconcelos, D. V. P. Andrade, D. M. Macedo, J. V. Queiroz and H. R. Hekis, "Gestão da Qualidade e Avaliação Institucional: um Estudo de Caso em uma Ies do Rn.". In VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2011.
- [22] K. Watty, "When will academics learn about quality?", *Quality in Higher Education*, London, vol.9, n. 3, Nov. 2003.



# Modelo de saneamento rural desenvolvido para pequenas comunidades do Paraná - Brasil

Jefferson de Queiroz Crispim

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR  
Campo Mourão, Paraná  
jeffersoncrispim@hotmail.com

José Antônio da Rocha

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR  
Campo Mourão, Paraná  
jeffersoncrispim@hotmail.com

Sandra Terezinha Malysz

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR  
Campo Mourão, Paraná  
sandramalysz@hotmail.com

Fernando Henrique Villwock

Programa de Pós Graduação em Geografia (mestrado)  
Universidade Estadual de Maringá - UEM  
Campo Mourão, Paraná  
fernandovillwock@hotmail.com

Izabela Markezoni

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR  
Campo Mourão, Paraná  
izabelamarkezoni@hotmail.com

Taila Lorena de Souza

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR  
Campo Mourão, Paraná  
tailalorenasouza@gmail.com

Cristiane Kreutz

Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
Campo Mourão, Paraná  
cristianekreutz@hotmail.com

Marcia Aparecida de Oliveira

Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
Campo Mourão, Paraná  
marcia.o.a@gmail.com

**Abstract**—O tratamento da água por meio da rede de esgoto ainda é muito baixo na área urbana brasileira. Nas áreas rurais em especial na agricultura familiar, em lugares onde às famílias possuem renda e nível de instrução baixa, a situação é mais preocupante, pois na maioria dos casos ainda são usadas fossas negras e o resíduo estocado pode encontrar os lençóis freáticos ou contaminar rios, lagos e nascentes. Com a precariedade de saneamento básico, é indispensável à criação de tecnologias alternativas, principalmente para atender os pequenos agricultores, e contribuir com a preservação dos recursos hídricos. Considerando estas tecnologias, neste artigo discutiremos a criação de estações de tratamento de esgoto no modelo de Bacia de Evapotranspiração (BET), uma alternativa sustentável que visa à redução da poluição e da contaminação com objetivo de manter a preservação ambiental, com a recuperação das áreas já degradadas e sensibilização dos agricultores sobre a importância dos cuidados com o meio natural. O projeto foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico e Científico (CNPq), processo 470703/2014-8, sendo

implantadas três Bacias de Evapotranspiração, localizadas no município de Iretama e os resultados apontam para a redução nos parâmetros da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO), obedecendo às normas do Instituto Ambiental do Paraná.

*Keywords* – Água; Saneamento rural; Agricultura familiar; Educação ambiental.

## I. INTRODUÇÃO

A partir da década de 1950 até o final do século passado, os investimentos em saneamento básico no Brasil ocorreram pontualmente, com um destaque para as décadas de 1970 e 1980, quando existia um ponto de vista que “abastecimento de água e de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento resultariam na redução das taxas de mortalidade” [1].

No Planeta Terra, mais de um bilhão de habitantes não têm acesso à habitação segura e a serviços básicos, embora todo ser humano tenha direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza. No Brasil, as doenças resultantes da falta de saneamento, especialmente em áreas pobres, têm agravado o quadro epidemiológico [2].

Saneamento se caracteriza como o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar salubridade ambiental. Além da função ambiental o saneamento, tem importante papel social, pois a cada um real gasto em Saneamento Básico, se economiza quatro reais em Saúde, o que corrobora ainda mais para a indispensabilidade dos serviços de saneamento [3].

Para [4] o saneamento básico no Brasil constitui num grande desafio a ser alcançado, e necessita de um maior envolvimento da sociedade como um todo. Os serviços de saneamento devem promover a qualidade de vida da população, bem como proteger os recursos naturais. Em relação ao saneamento rural, as dificuldades também são significativas, uma vez que a falta de cuidado pode gerar problemas com a qualidade da água e o meio ambiente, representando um risco à saúde das pessoas.

Poluentes oriundos dos dejetos humanos muitas vezes, são lançados na natureza a céu aberto, escoam por valas, ou vão para as chamadas fossas negras. A falta de sensibilização ambiental ao lançar efluentes sem tratamento prévio, próximo aos corpos hídricos, pode prejudicar muito os moradores, uma vez que esse resíduo lançado indiscriminadamente pode contaminar a água, tornando-a imprópria para o consumo ou mesmo para as atividades agrícolas.

Para, [5] a qualidade da água está devidamente interligada com a questão de saúde pública. No Brasil, aproximadamente 60% dos pacientes internados em hospitais estão com alguma doença cuja origem é de veiculação hídrica, e estimativa aponta que se houvesse uma política de aplicação de verbas em saneamento básico, ou seja, tratamento de água para abastecimento e de esgotos, haveria uma economia significativa em gastos com saúde [6].

Para atenuar os gastos com saúde é muito importante o saneamento básico, e a criação da rede de tratamento de esgoto é uma das etapas do saneamento. Para [5] os tratamentos convencionais possuem um custeio muito elevadas, e alternativas estão sendo criada, uma delas são as Bacias de Evapotranspiração (BET's), um tratamento de esgoto ecológico que possui um custo de criação e manutenção baixo.

A bacia de evapotranspiração possui um grande papel na preservação ambiental por ser de baixo custo de instalação, exige pouca manutenção e principalmente resulta na melhoria da qualidade de vida de quem a usa.

Sendo assim, além de estabelecer medidas e técnicas que possam proporcionar o adequado aproveitamento dos recursos naturais com destinação e tratamento adequado dos resíduos nas áreas rurais, tendo em vista que o acesso ao saneamento básico ainda não é satisfatório no Brasil e nem mesmo no Estado do Paraná, embora tenha evoluído ao longo dos anos, é necessário associar as políticas públicas de saneamento e demais projetos ao trabalho com a Educação Ambiental.

A fim de melhorar a situação de saneamento rural, neste trabalho foi realizada uma pesquisa experimental com a instalação de estações de tratamento de esgoto em pequenas propriedades do Assentamento Muquidão na qual os agricultores utilizam as fossas negras e/ou esgoto a céu aberto, com riscos de poluição da água e contaminação por agentes patogênicos.

Localizado na bacia hidrográfica do Rio Ivaí, na Mesorregião Centro-Ocidental paranaense, no município de Iretama. Antes da desapropriação, as terras do Assentamento Muquidão pertenciam à propriedade particular Fazenda Junqueira, ocupadas com a pecuária extensiva. Hoje, pertencem a agricultores familiares, assentados ou que adquiriram terras dos assentados, com pequenas propriedades com menos de 20 hectares, que desenvolvem atividades agropecuárias com a mão de obra familiar para desenvolver suas atividades agropecuárias.

A região está situada sobre áreas de Neossolo Litólico, solos rasos, e as fossas negras escavadas nas propriedades possuem profundidades inferiores a 2,5 metros, apresentando riscos de contaminação às nascentes localizadas a jusante e utilizadas como fonte de abastecimento doméstico.

Neste contexto, devido às dificuldades das famílias manterem estas fossas ativas por um longo período devido a geologia local, foram implantadas três estações de tratamento de esgotos por zona de raízes modelo bacia de evapotranspiração no ano de 2015 para acompanhamentos de pesquisa, objetivando a redução de contaminantes do solo e da água.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho consistiu-se em uma pesquisa participativa, na qual conciliou-se a pesquisa quantitativa com a qualitativa, com coleta de dados em campo a partir da interação dos pesquisadores com a problemática

do saneamento rural em pequenas propriedades dos agricultores familiares do Assentamento Muquillão, envolvendo estes em atividades alternativas de saneamento, juntamente com a Educação Ambiental de caráter informal.

A comunidade Assentamento Muquillão foi selecionada para o trabalho por não possuir distribuição de água tratada e nem coleta de esgoto, tornando o ambiente suscetível a contaminações.

A fim de evitar a contaminação da água pelas fossas negras das propriedades, se instalou de forma experimental no decorrer do ano de 2015, em três das propriedades que apresentavam alto risco de contaminação pelo sistema de esgoto então utilizado, três estações de tratamento de esgotos por zona de raízes modelo bacia de evapotranspiração para acompanhamentos de pesquisa, objetivando a redução de contaminantes do solo e da água.

Antes e após a construção dos sistemas de tratamento de esgoto, foram realizadas reuniões com as famílias atendidas, avaliando a relevância ambiental do projeto na propriedade e como este se relacionaria com a saúde dos agricultores.

Antes da confecção das BET's, realizou-se um trabalho de Educação Ambiental com os agricultores, para que estes fossem sensibilizados para a importância do tratamento alternativo de esgoto, mais eficaz e ecológico, além de que se envolvessem no trabalho, participando ativamente de todo o processo de construção. Aplicou-se aos agricultores um questionário para diagnóstico socioambiental, com questões semiestruturadas.

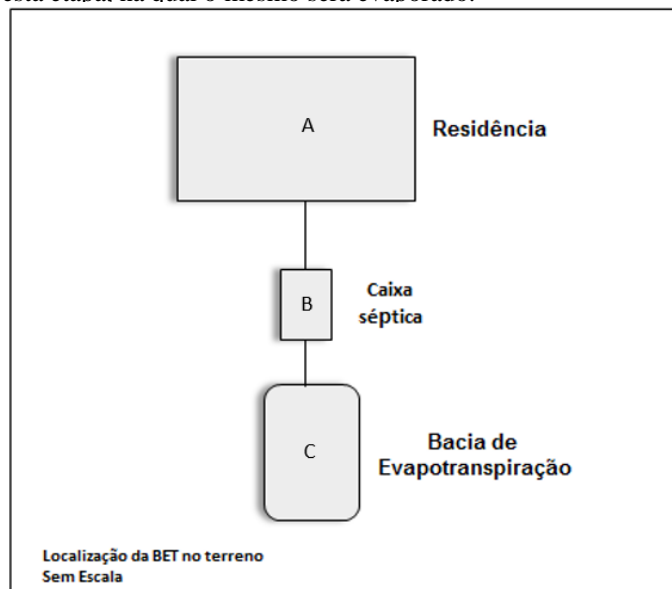
As BET's foram confeccionadas e instaladas na propriedade com acompanhamento trimestral e reuniões com os agricultores envolvidos no projeto objetivando a otimização do uso dos sistemas. A estação de tratamento de esgotos, modelo Bacia de Evapotranspiração, diferencia-se de outros sistemas ecológicos utilizados, devido ao modelo de construção.

Para confecção do sistema e dimensiona-la, verificou-se quantas pessoas ocupavam a residência e dimensionou-se 2 m<sup>3</sup> por habitante com escavação de duas caixas. A primeira caixa é a séptica, construída segundo as normas da NBR 7229/1993. Em alvenaria, recebe os dejetos provenientes dos banheiros (águas negras) e unidade de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processo de sedimentação, flotação e digestão. Foi projetada para receber todos os despejos domésticos (águas cinza e negras), lavanderia, cozinha, banheiros, lavatórios, entre outros, com capacidade para 3.500 litros.

O tanque séptico é uma unidade de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processo de sedimentação, flotação e digestão. Com medidas de 2,30

x 1,50 x 1,0 m, é projetado para receber todos os despejos domésticos (águas cinzas e negras), lavanderia, cozinha, banheiros, lavatórios, entre outros (Figura 1).

Figura 1: Disposição das etapas de tratamento [a] residência, responsável pela produção o efluente; [b] caixa séptica, nesta etapa todo o efluente sólido presente é retido; [c] bacia de evapotranspiração, todo o efluente líquido é canalizado para a esta etapa, na qual o mesmo será evaporado.



Na fossa séptica ocorre a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes e uma parcela da matéria orgânica em suspensão contida no esgoto fica retida nessa etapa do tratamento. Neste ambiente, ocorre a sedimentação e digestão, onde se realiza o tratamento primário das águas servidas. O líquido escoar no sentido horizontal, de modo a permitir que os materiais em suspensão se depositem no fundo da caixa, onde se decompõem anaerobicamente, transformando-se em líquidos e gases.

O tratamento secundário ocorre na segunda caixa chamada de bacia de evapotranspiração, instalada na sequência, recebendo apenas o material líquido, visto que o material sólido fica retido na primeira. A segunda caixa foi escavada na profundidade de 1 metro e dimensionada de acordo com o número de moradores. Utilizou-se uma camada de lona plástica de 200 micras como impermeabilizante no interior da BET que impedirá a infiltração do efluente no solo.

No interior do sistema, introduziram-se pneus de automóveis no sentido vertical na área central da caixa, formando uma tubulação. As laterais entre os pneus e a parede da BET foram preenchidas com 50 cm de entulhos de construção, na sequência, foi distribuída uma camada de pedra brita, com 20 cm de espessura, em seguida, uma camada de 20 cm areia grossa e por fim uma camada de 10 cm de terra, onde foi inserida a vegetação.

Os pneus foram dispostos em linha no sentido vertical no interior do sistema formando uma câmara de recepção do efluente proveniente da séptica, a fim de distribuir lateralmente para a área preenchida com entulhos, pedra e areia, local onde as bactérias realizarão a transformação do material.

Os locais escolhidos para a instalação das bacias de evapotranspiração necessitam receber grande incidência de raios solares, para que sua eficiência seja satisfatória.

Foram escolhidas espécies de plantas com alto poder de evapotranspiração. Sobre as BET's foram plantadas Canna indica Lily (Bananeira de jardim) e Heliconia rostrata (Caeté) que por meio de suas raízes absorvem a umidade excedente do sistema.

A fim de verificar a eficiência das estações de tratamento de esgoto alternativa, foram realizadas cinco amostragens de efluentes, sendo as primeiras realizadas aos 90 dias após a instalação das BET's (Figura 2).

Figura 2: Trabalhos em conjunto com as famílias e apresentação das três BET's implantadas na Comunidade Muquillo: 1.a - construção do sistema BET; 1.b - Caixa séptica construída segundo a NBR 7229/1993; 1.c - Bacia de Evapotranspiração; 1.d - Bacia de Evapotranspiração com 10 meses; 1.e - Bacia de Evapotranspiração com 14 meses; 1.f - Reuniões e trabalhos de Educação Ambiental



Figura 1.a



Figura 1.b



Figura 1.c



Figura 1.d



Figura 1.e



Figura 1.f

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a modernização da agricultura, vem se debatendo em congressos, conferências, pesquisas e nas mais diversas mídias, as questões de preservação ambiental, relacionado a isso estão o saneamento básico. Dados referentes ao esgotamento sanitário são alarmantes, indicando índices de cobertura da população, por redes coletoras de esgoto, de apenas 30% e um percentual de municípios que possuem estações de tratamento inferior a 10%. Mesmo nos municípios que se incluem nesta pequena parcela, em geral as estações de tratamento existentes atendem a apenas uma parte da população; e muitas vezes as eficiências são reduzidas e os problemas operacionais são frequentes [7].

O lançamento de efluentes sem prévio tratamento contribui para a degradação ambiental e para a proliferação de diversos tipos de doenças de origem parasitária e infecciosa.

A Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 estabelece as diretrizes para o saneamento básico e tem como princípio fundamental a universalização do acesso a ele, no entanto o que se observa no texto da lei é determinado direcionamento para políticas que atendam as áreas urbanas. Quanto à área rural há uma deficiência de providências na Lei, e os resultados disso podem ser constados na realidade da área rural, como apontam os dados do [8] com relação ao Brasil e Paraná (Quadro I).

Quadro 1: Comparação do esgotamento sanitário na área rural Brasil e Estado do Paraná

	Brasil	Paraná
Tipo de esgotamento sanitário	%	%
Fossa rudimentar	49,9	63,4
Fossa séptica	24,9	24,4
Não tinham	13,7	1,8
Rede coletora	4,4	8,9
Vala	3,6	1,6
Direto para rio, lago ou mar	3	-
Outro tipo	0,5	-

De acordo com dados coletados com os agricultores da Comunidade Muquillo no município de Iretama, a disposição do esgoto segue o mesmo direcionamento do levantamento realizado pelo Instituto



Brasileiro de Geografia e Estatística. Verificamos que as famílias entrevistadas utilizavam a fossa negra para despejo final e desta forma, em período chuvoso, estas fossas de pouca profundidade, devido a litologia e em contato com o basalto escoavam o efluente subsuperficialmente contaminando as nascentes, que encontram-se a jusante das residências.

As reuniões com os agricultores e constante acompanhamento garantiram a participação destes nos trabalhos de implantação e de manutenção das BET's, a partir do entendimento de seu funcionamento e de sua importância socioambiental.

Nas cinco amostragens de efluentes, foram analisados dois parâmetros para avaliar a eficiência do sistema: a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), obtendo resultados satisfatórios e dentro das normas exigidas pelos órgãos ambientais (Figura 2).

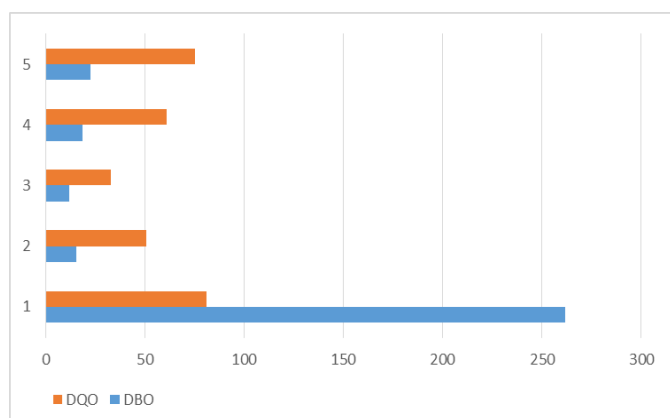


Figura 2 – Eficiência dos parâmetros físico-químicos das BET's instaladas na Comunidade Muquidão (DBO e DQO mg/L)

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é a quantidade de oxigênio dissolvido, necessário aos microrganismos, na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbicas, em que os efluentes quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior é a DBO.

O teste da DQO mede o consumo de oxigênio para oxidar compostos orgânicos, bio e não biodegradáveis, com oxidação exclusivamente química, não sendo afetado pela nitrificação, dando – nós uma indicação apenas da matéria orgânica carbonácea [9].

As implementações das BET's apresentaram eficiência nos parâmetros do efluente tratado, com redução significativa entre as análises realizadas.

O trabalho de Educação Ambiental desenvolvido por meio de pesquisa qualitativa, com questionários semiestruturados aplicados aos agricultores e observação in loco das propriedades, paralelamente aos trabalhos de instalação das BET's, envolveu as famílias e possibilitou a compreensão efetiva do valor da preservação e como isto afeta o cotidiano.

A prática da educação ambiental não formal considerou a importância da troca de conhecimentos por meio de conversas, considerando as particularidades de cada ambiente e o entendimento dos agricultores. Foi possível adequar à linguagem e as práticas utilizadas de forma que a compreensão fosse facilitada. Buscou-se trabalhar com os conhecimentos sobre Educação Ambiental considerando as singularidades do local, o contexto no qual os agricultores estão inseridos.

Durante o trabalho de sensibilização ambiental, verificou-se que muitos agricultores não tinham o entendimento em relação as melhorias que a estação de tratamento de esgotos proporcionaria para as suas vidas, preservação dos rios, nascentes e lagos próximos as suas propriedades.

A partir da Educação Ambiental foi possível transmitir informações sobre maneiras adequadas de como lidar com os recursos ambientais sem degradá-los, ou degradando o menos possível. Houve participação ativa dos agricultores na construção das três BET's, resultando na aprendizagem da técnica e disseminação entre a comunidade.

Em pesquisa realizada por [10], a autora obteve média de 70% na DQO e 91% na DBO em tanques sépticos. [11] obtiveram eficiência na DQO 86% e DBO 88% em sistemas de tratamento de esgotos por zona de raízes. [12] obteve média de 71,39 de DQO e 67,19% de DBO em trabalhos realizados em cinco ETE's na Região Metropolitana de Curitiba. Os sistemas monitorados na pesquisa da Comunidade Muquidão, apresentaram resultados de 69,2 % para DQO e 91,93% para DBO.

#### CONCLUSÃO

A importância do tratamento de esgotos em conjunto a condições adequadas de saneamento é indispensável para a qualidade ambiental e a preservação da saúde

humana. Este artigo é resultado de um trabalho que teve como objetivo utilizar tecnologias alternativas de saneamento ambiental em propriedades rurais de agricultura familiar.

Para implantação de um sistema de tratamento de esgoto modelo BET, deve-se considerar vários aspectos relevantes para obter uma eficiência favorável. Em princípio, a área onde a Estação de Tratamento de Esgoto que implantada tem que ser analisada juntamente com outros fatores importantes como topografia do terreno. O solo tem que ser favorável à compactação para evitar possíveis deformações ao receber os materiais como entulho, areia, pedra brita e terra. A localização em relação a luz solar é primordial quando se trata do sistema BET, pois quanto maior a incidência solar que o sistema receber, maior será o processo de evaporação e evapotranspiração.

As bacias de evapotranspiração permitem atender com tratamento adequado comunidades da zona rural, residências e escolas da zona urbanas não atendidas por rede coletora de esgoto. Um dos pontos fortes desta tecnologia é a sua flexibilidade para se adaptar a diferentes ambientes.

Durante o desenvolvimento de implantação dos sistemas, a sensibilização ambiental, capacitação e o repasse da técnica para as comunidades foram priorizadas, resultando na construção participativa dos agricultores.

Os índices de redução dos parâmetros físico/químicos analisados mostram eficiência das BET's, obtendo resultados para lançamentos de efluentes, abaixo do que é exigido pelo Instituto Ambiental do Paraná que é de 50 mg/L para DBO e até 150 mg/L para DQO.

Esperamos que esse trabalho possa ser contribuir para que outros agricultores se sensibilizem e instalem em suas propriedades este sistema tratamento de esgoto, pois o benefício trará melhorias ambientais e sociais, evitando a contaminação das águas, eliminando odores e de vetores causadores e transmissores de doenças.

Os resultados obtidos com a instalação das BET's contribuem para amenizar o problema da falta de saneamento na zona rural e proporcionando uma melhor qualidade de vida as famílias atendidas.

O papel da sensibilização dos agricultores foi um dos fatores de suma importância, uma vez que as famílias não possuíam conhecimento sobre as BET's e seu funcionamento, dificultando o entendimento sobre as

melhorias socioambientais promovidas pelo sistema de tratamento de esgoto.

A partir destas práticas de Educação Ambiental, e devidamente informadas, caberá aos agricultores o papel de realizar a manutenção do sistema instalado para que não reduza sua eficiência e aumente seu tempo de uso.

#### AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPQ pelo aporte financeiro no desenvolvimento deste trabalho e ao Laboratório de Pesquisa Geoambiental da Universidade Estadual do Paraná.

#### REFERÊNCIAS

- [1] SOARES, S.R.A.; BERNARDES, R.S.; CORDEIRO NETTO, O.M. **Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 18, p. 1713-1724, 2002.
- [2] BRASIL. **Lei Nº 9.795, de 27 de Abril de 1999**. Brasília: 27/04/1999. Disponível em:<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm)> Acesso: 28 de maio de 2016.
- [3] FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE – FUNASA. **Manual de saneamento**. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.
- [4] TEIXEIRA, J. B. Saneamento rural no Brasil: perspectivas. **In: Cadernos temáticos. (Vol. 7)**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.
- [5] LEMES, J. L. V. B.; et al. **Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural**. 2008. Disponível em:<<https://sitiocurupira.files.wordpress.com/2014/06/zona-de-raizes.pdf>>. Acesso em 13 de junho de 2016.
- [6] GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. **Tratando Nossos Esgotos: Processos que imitam a natureza**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. 2001 Disponível em:<<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/esgotos.pdf>>. Acesso em 11 de junho de 2016.
- [7] BARROS, R.T. de V.; et. al. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os**



**municípios.** Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 221p. (Volume II, Saneamento). 1995.

- [8] IBGE. (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), **PNAD 2013.** Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/download/Rede%20coletora%20e%20fossa%20ligada%20a%20rede.csv>>. Acesso em 28 de abril de 2016.
- [9] NUVOLARI, A. et. al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** Edgard Blucher: São Paulo, 2003.
- [10] ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbico com diferentes tipos de meio suporte.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tese de doutoramento. Rio de Janeiro, 2005.
- [11] KAICK, T. S. V.; MACEDO, C. X.; PRESZNHUK, R. A. JARDIM ECOLÓGICO – **TRATAMENTO DE ESGOTO POR ZONA DE RAÍZES: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UMA TECNOLOGIA DE SANEAMENTO APROPRIADA E SUSTENTÁVEL. 2008.**
- [12] SABEL, T. R. Educação ambiental não formal voltada para o saneamento ambiental na comunidade rural Colônia Mergulhão, São José dos Pinhais – PR. **Dissertação de Mestrado.** UTFPR. Curitiba, 2015.



# Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Água Bela, Goioerê, Paraná

Rafael Faria de Carard

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil  
Carard\_173@hotmail.com

Márcia Aparecida de Oliveira

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Eudes José Arantes

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Maristela Denise Moresco Mezzomo

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Vanessa Medeiros Corneli

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Jefferson de Queiroz Crispim

Colegiado de Geografia  
Universidade Estadual do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

Cristiane Kreutz

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campo Mourão, Paraná, Brasil

**Resumo:** Este trabalho teve por objetivo o estudo da bacia hidrográfica do Rio Água Bela em Goioerê, Paraná, Brasil. Os procedimentos adotados constaram em: delimitação da bacia hidrográfica, elaboração de cartas temáticas, atualização da hidrografia dentro dos limites da unidade de conservação e classificação das nascentes existentes.

Como resultado observou-se que o rio Água Bela compõe uma sub-bacia do rio Piquiri, apresenta um padrão de drenagem dendrítico, compreende formações geológicas, Serra Geral e Arenito Caiuá, bem como apresenta classes de solos de Argissolo, Latossolo e Nitossolo, possui relevo suave ondulado, com altitudes que variam de 210 a 630 metros, sendo considerada como uma bacia hidrográfica que compreende predominantemente atividades agrícolas. O estudo das características fisiográficas de uma Bacia Hidrográfica possibilitam sua abordagem como unidade de estudo ambiental.

**Palavras-chave**—meio físico, geotecnologias, unidade de estudo, bacia hidrográfica

## I. INTRODUÇÃO

Ao definir uma bacia hidrográfica como unidade de estudo, possibilita-se a visualização da combinação dos elementos físicos e biológicos presentes na área da bacia, permitindo a sua representação cartográfica.

A bacia hidrográfica é considerada como uma unidade natural, delimitada por limites eminentes do próprio escoamento de águas sobre a superfície, resultando de fatores como: material de origem, topografia, vegetação e clima [1].

O manejo de bacias hidrográficas deve buscar a preservação e melhoria da qualidade e quantidade de água, além de garantir o controle das interferências sobre a mesma, o que faz da bacia hidrográfica, a unidade geomorfológica da paisagem, mais adequada para a manipulação sistemática dos recursos presentes em uma determinada região. As nascentes estão inseridas nessa unidade, como pontos onde a água, proveniente do ciclo hidrológico, “jorra” pela superfície terrestre [2].

Assim, as bacias hidrográficas podem compor unidades para estudo de degradação das nascentes. Nascentes não deixam de jorrar e não secam. Apesar disso, estão sujeitas a sofrerem degradação [3]. Nas microbacias ocorrem diversas atividades que tornam estas unidades sensíveis a efeitos das intervenções em diversos aspectos ambientais. A água por ser muito dinâmica, não se recupera de maneira eficiente somente na nascente ou em um segmento do rio, sendo necessário levar em consideração a toda microbacia para este processo [4].

Este trabalho estudou as características físicas e da bacia hidrográfica do Rio Água Bela em Goioerê Paraná, visando sua utilização como unidade de estudo para compreender a possível degradação sobre as nascentes e origem destes processos erosivos.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Objeto da Pesquisa

O rio Água Bela, faz parte da hidrografia dos municípios de Goioerê e Quarto Centenário, na mesorregião Centro

Ocidental do Paraná, Brasil. Este rio contribui na composição de uma sub-bacia do rio Piquiri (Figura 1).

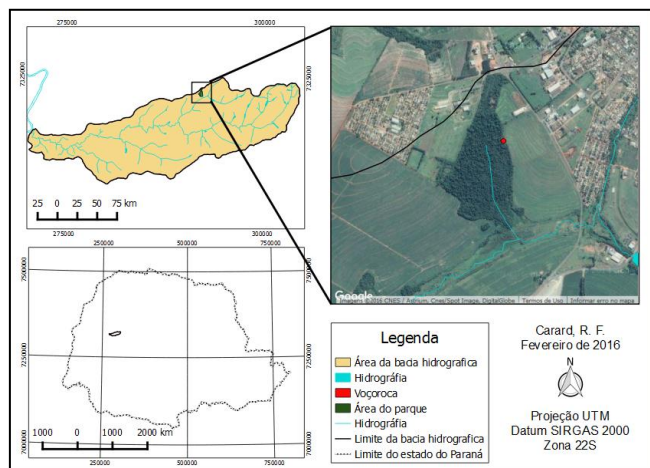


Figura 1 – Localização da Bacia hidrográfica UC em relação ao estado do Paraná-Brasil.

### B. Procedimento Metodológico

A delimitação da bacia foi realizada com o uso do *software Quantum Gis 2.8*, por meio de uma cena SRTM que compreende a região. Foi gerada uma camada de modelo digital de elevação (MDE) para a extração de curvas de nível. Segundo Granell-Pérez [5] e Von Sperling [6] o MDE possibilita derivar automaticamente parâmetros que caracterizam uma superfície tridimensional, permitindo dentre eles a delimitação de bacias hidrográficas por meio dos seus divisores de água.

Com base nas curvas de nível geradas e arquivo *Shapefile* da hidrografia do local, utilizando-se das ferramentas do *software Quantum Gis 2.8*, criou-se um polígono correspondente à área da bacia e seu limite aproximado de maneira manual, observando-se também a imagem de satélite do *Google Earth®* em segundo plano por sobreposição para melhor visualização.

As cartas temáticas foram elaboradas a partir do *software Quantum Gis 2.8*. Os dados de hidrografia, geologia e solos utilizados para criação das cartas foram obtidos de Instituto das Águas do Paraná [7]; Minerais do Paraná S/A [8]; ITCG [9].

Para a criação da carta de declividade foram utilizados os *softwares Quantum Gis 2.8 e Spring 5.3*, a partir de imagem de satélite SRTM disponibilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que compreende a área da bacia hidrográfica estudada. Nesta categoria foi gerada uma grade retangular do tipo bicúbica para realizar a reamostragem desta imagem de forma a criar Modelo Digital de Elevação (MDE ou DEM) [10]. Após a determinação do DEM, foram definidas as classes de hipsometria que compuseram a carta.

Para a declividade adotou-se as classes correspondentes, conforme Tabela I.

A determinação do uso do solo da bacia hidrográfica foi utilizado o *software Quantum Gis 2.8*, onde definiu-se as classes de uso do solo de acordo com as subclasses (nível 2)

do Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE [11], que correspondem a: Áreas urbanizadas, Áreas de mineração, Culturas temporárias, Culturas permanentes, Pastagens, Silvicultura, Área florestal, Área campestre e Áreas descobertas.

TABELA I - ASSOCIAÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVIDADE COM O FATIAMENTO DO MDE

Classes de declividade x Fatiamento	
Fatiamento (%)	Classes de declividade
0 – 3	Plano
3 – 8	Suave ondulado
8 – 20	Ondulado
20 - 45	Forte ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Escarpado

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Delimitação da Bacia Hidrográfica e Cartas Temáticas Resultantes

A carta de hidrografia elaborada (Figura 2) demonstra a hierarquização dos rios para com a rede hidrográfica atualizada da bacia.

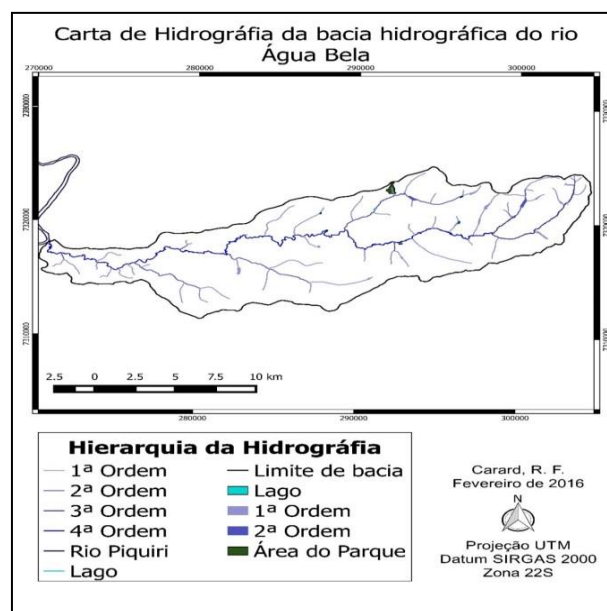


Figura 2 - Carta de Hidrografia da BH do rio Água Bela.

A rede hidrográfica da bacia é composta por 67 rios, tendo como rio principal o rio Água Bela, um rio de 4ª ordem. O sentido de escoamento da bacia ocorre de Leste – Oeste onde o rio acaba por desembocar a margem direita do rio Piquiri (sentido Norte).

O rio principal que dá nome a bacia é formado pela confluência de dois rios de 3ª Ordem, sendo eles, o Ribeirão dos Dez e a Água do Chassis. O rio Água Bela tem seu início próximo a cidade de Goioerê, formando o rio de 2ª Ordem. A

bacia abrange ainda o rio Água Limpa, de 2ª Ordem, localizado no meio da bacia. Todos os rios nomeados se ligam diretamente ao rio principal [12].

A bacia estudada foi classificada como endorréica de acordo com a proposta de Christofolletti [13] e Lima [14]. A bacia do rio Água Bela corresponde a uma sub-bacia hidrográfica, inserida na bacia hidrográfica do rio Piquiri. Em relação ao padrão de drenagem apresenta um padrão dendrítico.

É possível observar que o padrão apresenta baixo grau de controle em vista da forma como estão distribuídos os rios e também pelo padrão de drenagem. Apesar disso, notam-se alguns cursos de água em ângulo reto, principalmente na extremidade superior da bacia, afastado do exutório, o que poderia indicar anomalias.

Em relação à hierarquização, a mesma parece independer do tamanho da bacia. Estudos diferentes bacias hidrográficas em diferentes regiões com áreas menores que a bacia do rio Água Bela e apresentaram ordens iguais ou superiores a observada em relação ao rio principal. Esta hierarquização auxiliara nos estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) da bacia hidrográfica [15].

Por meio da carta de geologia (Figura 3) a bacia apresenta duas formações geológicas: Caiuá (Grupo Bauru) e Serra Geral (Grupo São Bento).

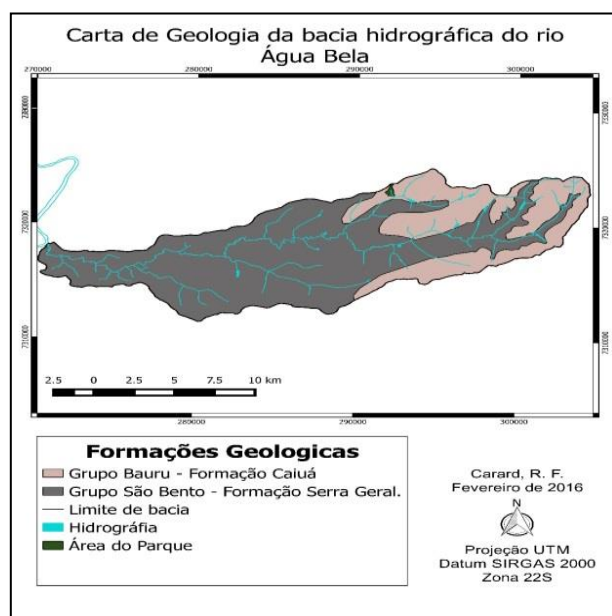


Figura 3 - Carta de Geologia da BH do rio Água Bela.

A estimativa de área para a formação Caiuá foi de 62,07 km² e para a formação Serra Geral, aproximadamente 163,28 km² em relação a área total da bacia de 225,35 km² [8].

A região onde a bacia hidrográfica está inserida fica entre estas duas subunidades geomorfológicas, porção da área de estudo assenta-se sob a região da formação arenito Caiuá o que pode ser um dos agravantes em relação ao processo erosivo consolidado em sua área, uma vez que tem a tendência a formação de solos com maiores concentrações de areia com alto potencial erosivo. Vale destacar que este fator também

pode ser responsável por uma grande quantidade de aporte de sedimentos na hidrografia existente na área.

A carta de solos da bacia hidrográfica (Figura 4) permitiu visualizar a extensão de três classes de solos, em cinco subordens diferentes em sua área de abrangência. A ocupação destas classes para com a bacia de estudo.

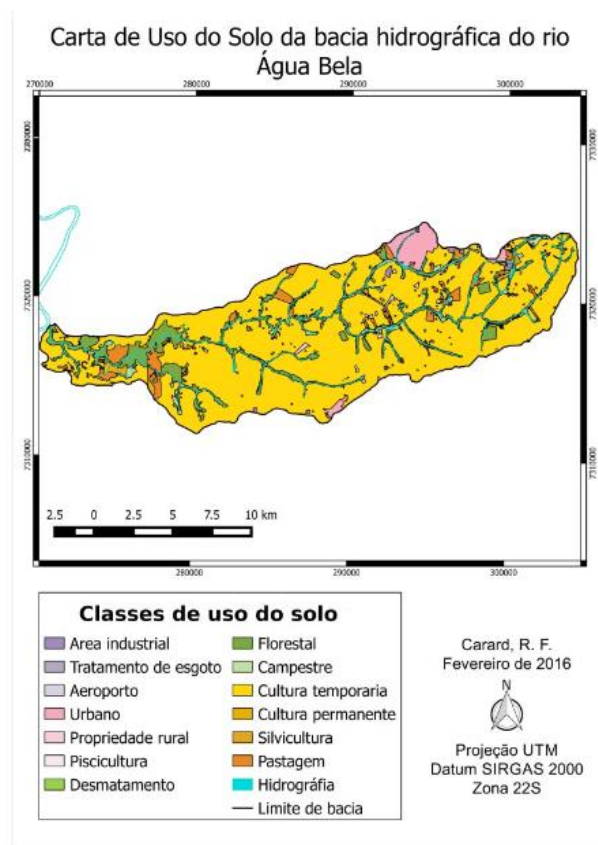


Figura 4 - Carta de Solos da BH do rio Água Bela.

Na Tabela II, apresenta-se as classes de solo, junto as suas subordens, predominantes na bacia hidrográfica.

TABELA II - EXTENSÃO DAS CLASSES DE SOLO SOBRE A ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA.

Classes de solos e subordens	Área de ocupação (km²)	Porcentagem de ocupação (%)
Argissolo Vermelho distrófico típico	6,17	2,73
Latossolo Vermelho distrófico típico	37,13	16,47
Latossolo Vermelho distrófico típico	73,65	32,7
Latossolo Vermelho eutroférrico típico	0,50	0,22
Nitossolo Vermelho eutroférrico típico	107,90	47,7
<b>Área da bacia hidrográfica</b>	<b>225,35</b>	<b>100%</b>

A bacia hidrográfica apresenta altitudes que variam de 210 a 630 metros (Figura 5).

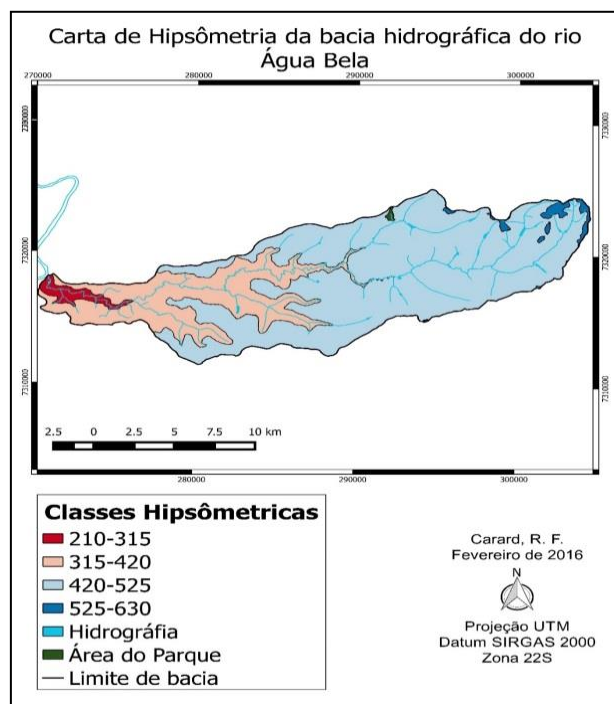


Figura 5 - Carta Hipsométrica da BH do rio Água Bela.

A carta de declividade (Figura 6) demonstrou uma predominância em classes de baixo declive. As classes de declividade acentuadas: relevo montanhoso e escarpa não existem na área da bacia.

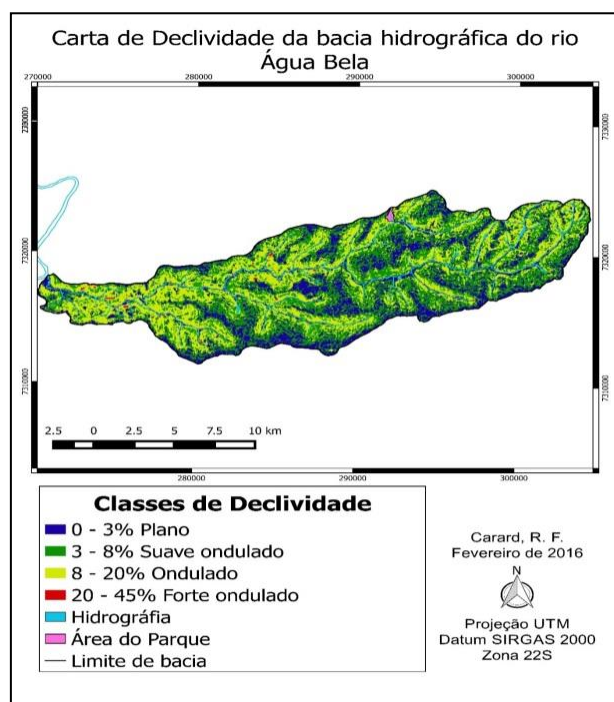


Figura 6 - Carta de Declividade da BH do rio Água Bela.

A importância do conhecimento da declividade está associada a ausência de cobertura vegetal, classes de solos e intensidade de chuvas, entre outras coisas. Para os autores a maior declividade pode conduzir à maior velocidade de escoamento superficial da água, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação e suscetibilidade a erosão [17].

Na Tabela III verifica-se que o relevo da bacia é predominantemente Suave Ondulado apresentando declividade de 3 a 8% se apresentando em maior parte no entorno da hidrografia. O relevo considerado como Ondulado com declive de 8 a 20% em grande maioria está localizado nas áreas dos rios. Já o relevo Plano de 30 a 3% de declive está localizado em áreas mais afastadas dos corpos hídricos. A classe considerada como Forte Ondulado foi observada em pontos isolados na região mais central e próxima do exutório.

TABELA III - EXTENSÃO DAS CLASSES EM RELAÇÃO A ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA.

Classes de declividade	Área de ocupação (km <sup>2</sup> )	% de ocupação
0 - 3 % Plano	25,93	11,50
3 - 8 % Suave ondulado	143,35	63,60
8 - 20 % Ondulado	55,87	24,80
20 - 45 % Forte ondulado	0,200	0,10
<b>Área da BH</b>	<b>225,35</b>	<b>100</b>

Evidencia-se que a bacia hidrográfica apresenta características predominantemente agrícolas, com destaque a atividades de cultura temporária.

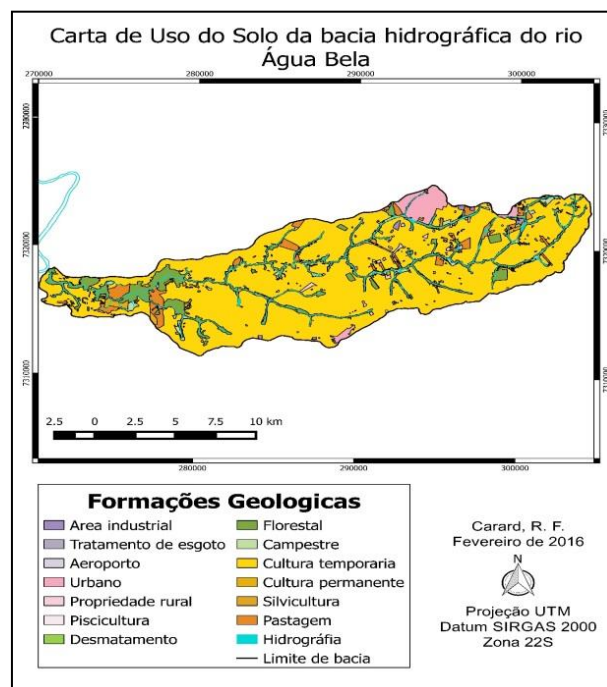


Figura 7 - Carta de Uso do Solo da BH do rio Água Bela.

A classe de Cultura Temporária foi a de maior evidência na bacia hidrográfica (77,448%). A classe Florestal (10,537%)



localizada em grande maioria no entorno dos rios como APP ou Reserva Legal de propriedades. A área de Pastagem se demonstrou como a terceira mais evidente (3,701%). A classe Urbano (3,084%) corresponde as cidades de Goioerê, em maior proporção, Quarto Centenário e um distrito (Jaracatiá) englobadas parcialmente na área da bacia hidrográfica. A classe Campestre (2,547%) em grande maioria está localizada junto ao leito dos rios em áreas que apresentam vegetação de pequeno porte em estágio primário de desenvolvimento (sem formação de copa). A Área industrial (0,359%) foi observada em sua totalidade próxima as áreas urbanas. Em relação a Propriedade rural (1,012%) foram observadas distribuídas por toda a bacia hidrográfica. Não foram notadas extensas áreas de Desmatamento (0,075%). A classe Tratamento de Esgoto (0,004%) se demonstrou próxima ao rio que tem como afluente o rio do parque, estando localizada a jusante do mesmo.

Goioerê apresenta como principais atividades econômicas a lavoura temporária, lavoura permanente, pecuária e criação de outros animais. Em relação a quarto Centenário as atividades mais empregadas correspondem a lavoura temporária, pecuária e criação de outros animais. Desta forma, estas atividades seriam notadas tanto na cabeceira da bacia (Goioerê) como no médio curso da mesma (Quarto Centenário)[18].

A região Centro Ocidental do Paraná, na qual a bacia estudada está inserida apresenta 43% da área total de suas terras como sendo consideradas aptas para mecanização, considerando o fator declividade neste caso (0 a 10%) [19].

No caso da bacia hidrográfica do rio Água Bela de modo geral os rios e nascentes apresentaram a presença de Área de Preservação Permanente (APP) em seu entorno, contudo é possível que várias áreas estejam em desacordo com a legislação ambiental vigente. Observa-se na bacia hidrográfica locais onde o uso do solo junto às áreas dos rios teriam uma probabilidade maior de ocorrer impactos, por exemplo, a contaminação das águas.

#### IV. CONCLUSÕES

As cartas elaboradas possibilitaram a criação de um banco de dados da Bacia Hidrográfica do rio Água Bela.

A utilização de geotecnologias associada a informações permitem a criação de Bancos de Dados que podem ser utilizados no estudo dos parâmetros morfométricos e avaliação de qualidade ambiental.

Desta forma conclui-se que bacias hidrográficas são unidades de estudo que contribuem na compreensão da dinâmica ambiental.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Brigante, J. Espíndola, e. L. G. Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu. São Carlos: Editora Rima. 278p. 2003.
- [2] Companhia Energética de Minas Gerais. Nascente, o verdadeiro tesouro da propriedade rural: O que fazer para conservar nascentes nas propriedades rurais. 2. ed. Universidade Federal de Lavras. Belo Horizonte, MG: Cemig, 2004. 24 p. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/publicacoes/Documents/Cartilhas/Cartilha%20Nascentes%20Rurais.PDF>> Acesso em: 27 set. 2015.
- [3] Cardoso, N.; Moraes, J. S.. Restauração de nascentes. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, 2004. Cuiabá, 2004. Anais... Cuiabá: ABAS. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23620%20>> Acesso em: 28 set. 2015.
- [4] Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná. Nascentes: Protegidas e recuperadas. Secretaria de estado do meio ambiente e recursos hídricos. 21 ed. Paraná: SEMA, 2010. Disponível em: <[http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Cartilha\\_nascentesprotegidas.pdf](http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Cartilha_nascentesprotegidas.pdf)> Acesso em: 28 set. 2015
- [5] Granell-Pérez, M. del C.Trabalhar geográfica com as cartas topográficas. 2 ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2004. 128 p.
- [6] Von Sperling, M.. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. V 7. 558 p.
- [7] Instituto Agrônomico do Paraná. Cartas climáticas do Paraná: Classificação climática. S.D. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863>> Acesso em: 07 nov. 2015.
- [8] Minerais do Paraná, MINEROPAR. Potencialidades e fragilidades das rochas do estado do Paraná. 2006. Disponível em: <[http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Contribuicoes\\_ZEE/Mineropar\\_2006.pdf](http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Contribuicoes_ZEE/Mineropar_2006.pdf)> Acesso em: 04 abr. 2016.
- [9] Instituto De Terras Cartografia E Geociências. Carta de Climas do Estado do Paraná. Escala 1:250000. 2008. Disponível em [www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br). Acesso em 10 out. 2012.
- [10] Paranhos Filho, A. C.;Llastoria, G.; Torres, T. Sensoriamento remoto ambiental aplicado. UFMS: Campo Grande, 2008.
- [11] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Histórico. S.D. Disponível em:<<http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?lang=&codmun=410860&search=%7Cgoioere>> Acesso em: 07 nov. 2015.
- [12] Instituto Paranaense de Desenvolvimento Economico Social. Caderno estatístico município de goioerê, 2006. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87360>> Acesso em: 20 abr. 2016.
- [13] Christofoletti, Antônio. Geomorfologia. 2ª ed. São Paulo, Edgar Blücher. 1980.
- [14] Lima, M. I. C. Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico. 3º Ed. Belém, Pará, 2006. Disponível em: <<http://www.neotectonica.ufpr.br/geomorfologia/1.pdf>> Acesso em: 01 abr. 2016.
- [15] Miguel, A. E.et al.Características Morfométricas do Relevo e Rede de Drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Taquaruçu/MS Revista Brasileira de Geografia Física, vol.07, n.04 (2014) 678-690. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/783/586>> Acesso em: 12 jun. 2016.
- [16] Silva, M.T. et al. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. Revista Brasileira de Geografia Física, v.. 5, Nº 3, 2012. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/405>> Acesso em: 03 mar. 2016.
- [17] Tonello, K.C. Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, guanhões – MG. R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n5/a19v30n5.pdf>> Acesso em: 05 jun. 2016.
- [18] Instituto Paranaense de Desenvolvimento Economico Social. Caderno estatístico município de goioerê, 2006. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=87360>> Acesso em: 20 abr. 2016.
- [19] Höfig, P.;Araujo-Junior, C. F.Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. Coffee Science, Lavras. v. 10, n. 2, 2015 Disponível em: <[http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/833/pdf\\_177](http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/833/pdf_177)> Acesso em: 01 abr. 2016.





# Estudo Cinético Do Processo De Eletrocoagulação Aplicado Ao Tratamento De Água

Joseane Debora Peruço Theodoro<sup>1</sup>, Caio Noboru Motomatsu Ferrareze<sup>2</sup>, Vinícius Cavani Iwamura<sup>3</sup>, Edilaine Regina Pereira<sup>4</sup>, Paulo Sergio Theodoro<sup>5</sup> e Bruna Ricci Bicudo<sup>6</sup>

<sup>1 e 4</sup> Departamento Acadêmico de Ambiental

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Brasil

joseaneph@hotmail.com, edilainepereira@utfpr.edu.br

<sup>2, 3 e 6</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Brasil

caionoboru@gmail.com, vciwaamura@hotmail.com, brunariccib@gmail.com

<sup>5</sup> Universidade do Oeste do Paraná, Toledo, Brasil

paulostho@hotmail.com

**Resumo** — O presente trabalho demonstra o estudo cinético do processo de eletrocoagulação para o parâmetro turbidez aplicado ao tratamento de água. Foi empregado o cloreto férrico e Tanfloc SG, como agentes coagulantes. Para a realização do estudo cinético, aplicaram-se aos dados obtidos no modelo cinético de primeira ordem. Os ensaios de eletrocoagulação realizados para tempos de 0 a 80 minutos variando de 5 em 5 minutos os tempos de coletas. As concentrações de 25 e 50 mgL<sup>-1</sup>, forma utilizadas para cada agente coagulante inorgânico e orgânico e as variações das correntes elétricas foram de 0,2A e 0,5A. Observou-se que a cinética de primeira ordem, apresentou melhor linearização dos dados experimentais, para a eletrocoagulação sem adição de agentes coagulantes, sendo constante da velocidade  $k = -0,002 \text{ uT min}^{-1}$  e os seus valores de  $R^2$  0,943 para 0,2 A de corrente elétrica e 0,976 para 0,5 A de corrente elétrica e  $k = 0,046 \text{ uT min}^{-1}$ .

**Palavras Chave**— Cinética; cloreto férrico; tanfloc SG; eletrocoagulação; método integral.

## I. INTRODUÇÃO

Dos municípios brasileiros 87,2% possuem sistema de tratamento de água. Destes, 69,2% recebem tratamento convencional completo em uma ETA, onde há pelo menos a presença dos processos de floculação, decantação, filtração e desinfecção [1].

Mais especificamente, no Estado do Paraná, 100% dos municípios possuem algum tratamento de água, e aproximadamente 41% destes recebem tratamento convencional segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) [2].

A eletrocoagulação é um processo em que, por meio da passagem contínua de corrente elétrica, um eletrodo metálico sofre ações de oxidação e redução formando íons

metálicos que se combinam com íons hidroxilas formados através da hidrólise da água. A combinação resulta na formação de hidróxidos metálicos que desestabiliza os sólidos suspensos favorecendo assim a coagulação dos mesmos [3].

O processo de eletrocoagulação realiza as etapas da coagulação convencional liberando o coagulante in situ, a partir da liberação de espécies químicas hidrolisadas pelos eletrodos de sacrifício[4].

O estudo cinético analisa a velocidade em que as reações ocorrem, ou seja, como as concentrações de certas espécies moleculares variam em relação ao tempo[5].

Existem dois métodos para analisar dados cinéticos: o método integral e o método diferencial de análise [6]. Ambos os procedimentos apresentam vantagens e desvantagens, sendo que o segundo é de fácil utilização, recomendado para o teste de mecanismos específicos ou de expressões de taxa relativamente simples, sugerindo-se que a análise integral seja testada primeiro, recorrendo ao método diferencial caso não haja sucesso [6].

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento cinético do processo de eletrocoagulação sem adição de coagulante, do processo de eletrocoagulação com adição coagulante inorgânico cloreto férrico e do processo de eletrocoagulação com adição coagulante orgânico o tanino (tanfloc SG), aplicado ao tratamento de água, sendo o parâmetro turbidez a variável cinética pelo método da integral.

## II. METODOLOGIA

## A. Caracterização Da Área De Estudo

Para o presente trabalho, foram coletadas amostras na chegada da água do Rio Jacutinga ao Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAÉ) da Cidade de Ibioporã (Figura 1), localizada Estado do Paraná e no País Brasil.



Figura 1. Mapa com a localização da SAMAÉ Ibioporã [7].

## B. Processo de Eletrocoagulação

O reator para a realização da eletrocoagulação foi montado usando um recipiente de acrílico de forma retangular com 12 cm de largura, 12 cm de comprimento e 20 de altura; um agitador magnético, um sistema de eletrodos monopolares e uma fonte de corrente contínua (12V), como pode ser observado na Figura 2.

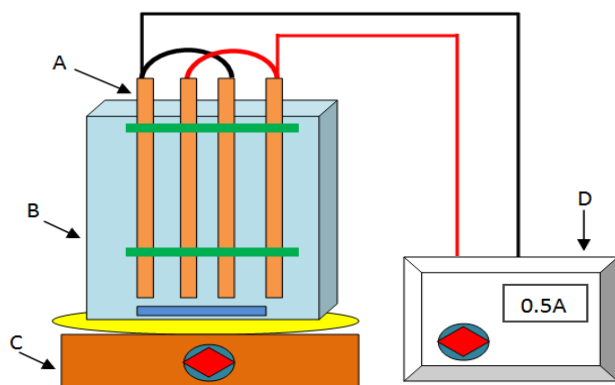


Figura 2. Reator de eletrocoagulação em nível de bancada, A) sistema de eletrodos monopolares, B) recipiente utilizado no reator, C) agitador magnético, e D) fonte de corrente elétrica.

O sistema de eletrodos monopolares é constituído de 4 placas de ferro conectadas em paralelo e fixadas por parafusos de policloreto de polivinila (PVC), originando 2

pares de eletrodos com distância de 1 cm entre eles. Estas placas apresentam 20 cm de altura, 5 cm de largura e 3 mm de espessura, sendo que o isolamento e distanciamento entre elas foi feito de forma equidistante. Conectores fixados com parafuso metálico e fio de cobre foram utilizados para interligar as placas de mesma polaridade.

## C. Preparação Das Soluções Coagulantes

A solução do coagulante orgânico Tanfloc SG foi obtida através da pesagem de 1 g de Tanfloc SG diluído em um balão volumétrico contendo 1 L de volume, desta forma a concentração obtida foi de  $1 \text{ g.L}^{-1}$ . A solução do coagulante inorgânico cloreto férrico foi obtido através da pesagem de 1 g de cloreto férrico diluído em um balão volumétrico contendo 1 L de volume, desta forma a concentração obtida foi de  $1 \text{ g.L}^{-1}$ .

## D. Análise Dos Parâmetros

Para realizar a análise dos parâmetros foi utilizado a metodologia de acordo com o Standard Methods of Examination of Water and Wastewater [8] como pode ser visto na Tabela I.

Tabela I

PARÂMETROS ANALISADOS, EQUIPAMENTOS E METODOLOGIA.

Parâmetro	Equipamento	Metodologia
Turbidez	Turbidímetro Policontrol	2030 B

## E. Estudo Cinético Do Processo De Eletrocoagulação

Durante os ensaios três tratamentos foram analisados: a eletrocoagulação sem adição de coagulantes (Tabela II), a eletrocoagulação com a adição do coagulante inorgânico cloreto férrico e a eletrocoagulação com adição do coagulante orgânico TANFLOC SG (Tabela III). Os dados para realização do estudo cinético foram coletados de 5 em 5 minutos, onde foram medidos os valores de cor e turbidez, totalizando 17 valores por ensaio.

Tabela II

CORRENTE E TEMPO PARA O PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO SEM A ADIÇÃO DE AGENTE COAGULANTE.

Corrente (A)	Tempos (min)
0,2	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80
0,5	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80

Tabela III

CORRENTE E TEMPO PARA O PROCESSO DE ELETROCOAGULAÇÃO COM A ADIÇÃO DE AGENTE COAGULANTE INORGÂNICO CLORETO FÉRRICO E ORGÂNICO TANFLOC SG.

Corrente (A)	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )	Tempos (min)
0,2	25	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80
0,2	50	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80
0,5	25	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80
0,5	50	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 e 80

O estudo cinético foi realizado neste trabalho com o intuito de avaliar a cinética do processo de eletrocoagulação da água estudada, através do método de análise integral, o parâmetro analisado é a turbidez. Este método, testa uma equação particular de taxa integrando e comparando a curva estimada de C (concentração) versus t (tempo) [6], com os respectivos dados experimentais obtidos de acordo com os ensaios das Tabelas II e III.

Para uma reação unimolecular irreversível de primeira ordem, com volume constante, do tipo  $A \rightarrow \text{produtos}$  [6], a Equação de taxa (velocidade cinética) (1) deve ser:

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (1)$$

Após rearranjo e integração, tem-se a Equação (2):

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = kt \quad (2)$$

Onde:

$C_A$  = concentração final do parâmetro turbidez (uT)

$C_{A0}$  = concentração inicial do parâmetro turbidez (uT)

k = constante da velocidade (tempo) ou (min<sup>-1</sup>)

t = tempo (min)

Através da Equação (2), foi obtido o gráfico da função logarítmica da concentração em relação ao tempo, desta forma, foi determinado o termo k que é o coeficiente angular, permitindo a determinação experimental da constante de velocidade da reação.

### III. RESULTADOS

Os valores da caracterização da amostra bruta encontram-se na Tabela V e o aspecto da água coleta e após

tratamento da água pelo processo de eletrocoagulação, está representado na Figura 3.

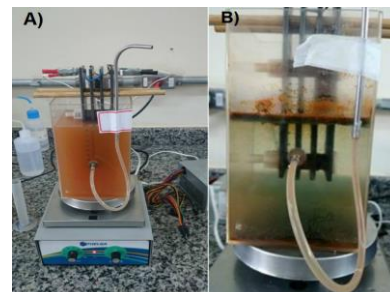
Tabela V

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA BRUTA.

Turbidez (uT)	Tempo (minuto)
384	0



Aspecto da água Bruta.



Aspecto final (80 min) da água após eletrocoagulação. Sendo que: A) para 0,2 A de corrente elétrica; B) para 0,5 A de corrente elétrica.

Figura 3. Coleta e tratamento da água.

#### A. Resultados Estudo Cinético Do Processo De Eletrocoagulação

Estudos cinéticos analisam a velocidade em que as reações ocorrem, ou seja, como as concentrações de algumas espécies moleculares se alteram em função do tempo. A velocidade da eletrocoagulação sem adição de coagulante, do processo de eletrocoagulação com adição de coagulante inorgânico cloreto férrico e do processo de eletrocoagulação com adição de coagulante orgânico o tanino (tanfloc SG), foi descrita pelo método da integral para a remoção do parâmetro turbidez, a partir dos dados das Tabelas VI, VII, VIII, IX e X.

Tabela VI (2)

COMPORTAMENTO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA A ELETROCOAGULAÇÃO SEM ADIÇÃO DE COAGULANTE, COM 0,2 A E 0,5 A DE CORRENTE ELÉTRICA E  $C_{A0}=380 \text{ uT}$ .

T min	$C_A$ uT 0,2A	$C_A/C_{A0}$ 0,2A	$\ln C_A/C_{A0}$ 0,2A	$C_A$ uT 0,5A	$C_A/C_{A0}$ 0,5A	$\ln C_A/C_{A0}$ 0,5A
0	384	1	0	384	1	0
5	397	1,033	0,033	290	0,755	-0,280
10	410	1,067	0,065	263	0,684	-0,378
15	424	1,104	0,099	240	0,625	-0,470
20	414	1,078	0,075	161	0,419	-0,869
25	419	1,091	0,087	157	0,408	-0,894
30	434	1,130	0,122	119	0,309	-1,171
35	431	1,122	0,115	89,1	0,232	-1,460
40	442	1,151	0,140	73,5	0,191	-1,653
45	448	1,166	0,154	54	0,140	-1,961
50	453	1,179	0,165	39,5	0,102	-2,274

55	457	1,190	0,174	28,5	0,074	-2,600
60	458	1,192	0,176	20,8	0,054	-2,916
65	463	1,205	0,187	15,7	0,040	-3,196
70	460	1,197	0,180	14,7	0,038	-3,262
75	473	1,231	0,208	11,9	0,030	-3,474
80	479	1,247	0,221	16,9	0,044	-3,123

Tabela VII

COMPORTAMENTO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA A ELETROCOAGULAÇÃO COM ADIÇÃO DE COAGULANTE CLORETO FÉRRICO (25mg/L), COM 0,2 A E 0,5 A DE CORRENTE ELÉTRICA E  $C_{A0}=380$  uT .

T min	C <sub>A</sub> uT 0,2A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	C <sub>A</sub> uT 0,5A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A
0	253	0,658	0,417	111	0,289	-1,241
5	226	0,588	0,530	47,7	0,124	-2,085
10	217	0,565	0,570	28,3	0,073	-2,607
15	210	0,546	0,603	16,9	0,044	-3,123
20	202	0,526	0,642	13,5	0,035	-3,347
25	184	0,479	0,735	12,8	0,033	-3,401
30	177	0,460	0,774	11,9	0,030	-3,474
35	163	0,424	0,856	11	0,028	-3,552
40	139	0,361	1,016	12,4	0,032	-3,432
45	137	0,356	1,030	11,1	0,028	-3,543
50	131	0,341	1,075	8,9	0,023	-3,764
55	112	0,291	1,232	13,2	0,034	-3,370
60	109	0,283	1,259	13,5	0,035	-3,347
65	99	0,257	1,355	13,3	0,034	-3,362
70	91,5	0,238	1,434	12,3	0,032	-3,441
75	80	0,208	1,568	13,4	0,034	-3,355
80	76,1	0,198	1,618	14,6	0,038	-3,269

Tabela VIII

COMPORTAMENTO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA A ELETROCOAGULAÇÃO COM ADIÇÃO DE COAGULANTE CLORETO FÉRRICO (50mg/L), COM 0,2 A E 0,5 A DE CORRENTE ELÉTRICA E  $C_{A0}=380$  uT .

T min	C <sub>A</sub> uT 0,2A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	C <sub>A</sub> uT 0,5A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A
0	186	0,484	-0,724	50,4	0,131	-2,030
5	121	0,315	-1,154	14,8	0,038	-3,256
10	113	0,294	-1,223	10,9	0,028	-3,561
15	90,1	0,234	-1,449	16,9	0,044	-3,123
20	95,7	0,249	-1,389	15,3	0,039	-3,222
25	92,8	0,241	-1,420	18	0,046	-3,060
30	83,2	0,216	-1,529	18,6	0,048	-3,027
35	91,9	0,239	-1,429	20,4	0,053	-2,935
40	88,7	0,230	-1,465	21,9	0,057	-2,864
45	97,8	0,254	-1,367	22,7	0,059	-2,828
50	102	0,265	-1,325	21,6	0,056	-2,877
55	101	0,263	-1,335	21,4	0,055	-2,887
60	100	0,260	-1,345	18,8	0,048	-3,016
65	111	0,289	-1,241	19,8	0,051	-2,964
70	112	0,291	-1,232	18,7	0,048	-3,022
75	114	0,296	-1,214	20,1	0,052	-2,949
80	119	0,309	-1,171	17,2	0,044	-3,105

Tabela IX

COMPORTAMENTO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA A ELETROCOAGULAÇÃO COM ADIÇÃO DE COAGULANTE TANFLOC SG (25mg/L), COM 0,2 A E 0,5 A DE CORRENTE ELÉTRICA E  $C_{A0}=380$  uT .

T min	C <sub>A</sub> uT 0,2A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	C <sub>A</sub> uT 0,5A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A
0	71,4	0,185	-1,682	42,9	0,111	-2,191
5	65	0,169	-1,776	19,9	0,051	-2,959
10	62,6	0,163	-1,813	13,8	0,035	-3,325
15	57,7	0,150	-1,895	13,7	0,035	-3,333
20	65,8	0,171	-1,764	14,4	0,037	-3,283
25	62,9	0,163	-1,809	19,5	0,050	-2,980
30	72,9	0,189	-1,661	21,5	0,055	-2,882
35	72,6	0,189	-1,665	24,5	0,063	-2,751
40	86,9	0,226	-1,485	29,4	0,076	-2,569
45	85,6	0,222	-1,500	26,9	0,070	-2,658
50	96	0,250	-1,386	26	0,067	-2,692
55	105	0,273	-1,296	24,2	0,063	-2,764
60	103	0,268	-1,315	21,8	0,056	-2,868
65	111	0,289	-1,241	20,5	0,053	-2,930
70	117	0,304	-1,188	18,5	0,048	-3,032
75	122	0,317	-1,146	21,2	0,055	-2,896
80	125	0,325	-1,122	18,9	0,049	-3,011

Tabela X

COMPORTAMENTO CINÉTICO DE PRIMEIRA ORDEM PARA A ELETROCOAGULAÇÃO COM ADIÇÃO DE COAGULANTE TANFLOC SG (50mg/L), COM 0,2 A E 0,5 A DE CORRENTE ELÉTRICA E  $C_{A0}=380$  uT .

T min	C <sub>A</sub> uT 0,2A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,2A	C <sub>A</sub> uT 0,5A	C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A	Ln C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> 0,5A
0	75,6	0,196	-1,625	12,7	0,033	-3,409
5	66,3	0,172	-1,756	14,9	0,038	-3,249
10	65,9	0,171	-1,762	11,6	0,0302	-3,499
15	81,3	0,211	-1,552	10,2	0,026	-3,628
20	88,4	0,230	-1,468	12,3	0,032	-3,441
25	98,6	0,256	-1,359	17,7	0,046	-3,077
30	98,7	0,257	-1,358	22,9	0,059	-2,819
35	108	0,281	-1,268	23,6	0,061	-2,789
40	113	0,294	-1,223	27,8	0,072	-2,625
45	128	0,333	-1,098	30,7	0,079	-2,526
50	110	0,286	-1,250	34,1	0,088	-2,421
55	115	0,299	-1,205	33,7	0,087	-2,433
60	104	0,270	-1,306	35,8	0,093	-2,372
65	101	0,263	-1,335	33,1	0,086	-2,451
70	94,1	0,245	-1,406	29,7	0,077	-2,559
75	85,7	0,223	-1,49	30,5	0,079	-2,532
80	84,8	0,220	-1,510	30,2	0,078	-2,542

Nas Figuras 4, 5 e 6 é demonstrado o comportamento dos dados para a cinética de primeira ordem do processo de remoção da turbidez, para a eletrocoagulação sem a adição de coagulante, eletrocoagulação com a adição de coagulante inorgânico, eletrocoagulação com a adição de coagulante orgânico, respectivamente.

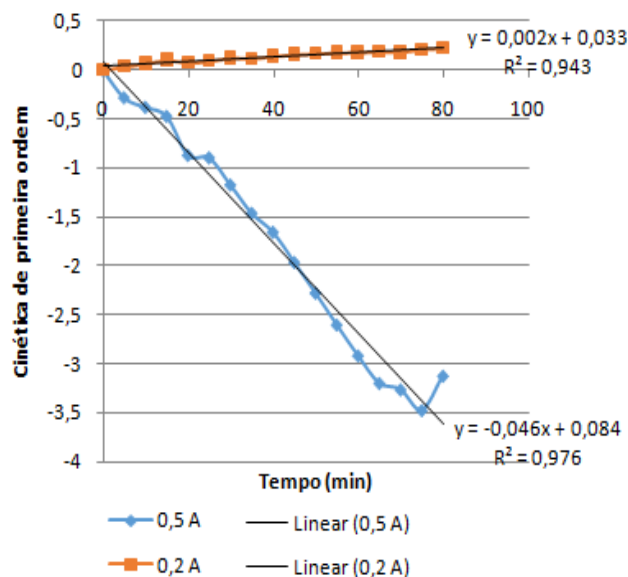


Figura 4. Variação da remoção da turbidez em função do tempo para cinética de primeira ordem para a eletrocoagulação somente.

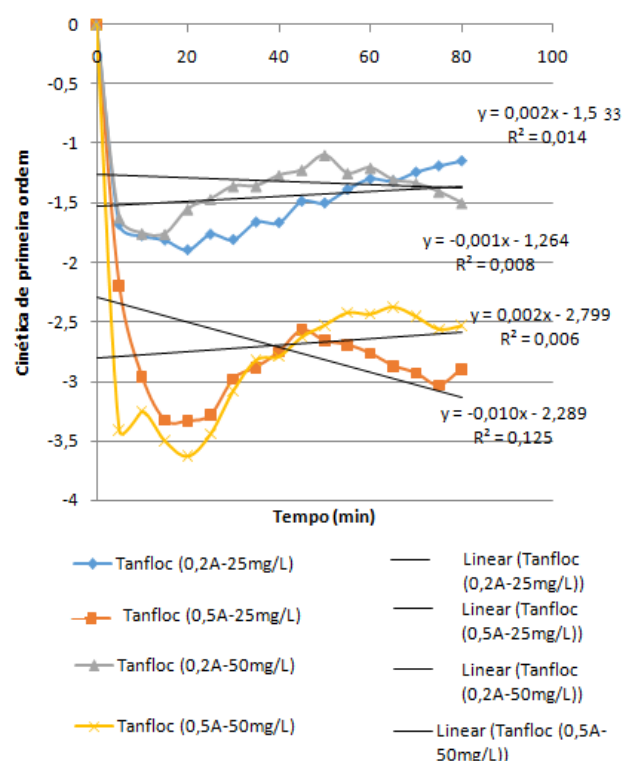


Figura 6. Variação da remoção da turbidez em função do tempo para cinética de primeira ordem para a eletrocoagulação com adição de Tanfloc SG.

Na Tabela XI observa-se os valores da velocidade (k) e do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Tabela XI

OS VALORES DA VELOCIDADE (K) E DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO ( $R^2$ )

COAG.	CON. (mg.L <sup>-1</sup> )	C (A)	EQUAÇÃO CINÉTICA	K (uT.min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Nenhum	0	0,2	$y = 0,002x + 0,033$	-0,002	0,943
Nenhum	0	0,5	$y = -0,046x + 0,084$	0,046	0,976
Cloreto Férrico	25	0,2	$y = -0,016x - 0,247$	0,016	0,962
Cloreto Férrico	25	0,5	$y = -0,027x - 1,868$	0,027	0,492
Cloreto Férrico	50	0,2	$y = -0,006x - 0,960$	0,006	0,213
Cloreto Férrico	50	0,5	$y = -0,011x - 2,341$	0,011	0,137
Tanfloc SG	25	0,2	$y = 0,002x - 1,533$	-0,002	0,014
Tanfloc SG	25	0,5	$y = -0,010x - 2,289$	0,010	0,125
Tanfloc SG	50	0,2	$y = -0,001x - 1,264$	0,001	0,008
Tanfloc SG	50	0,5	$y = 0,002x - 2,799$	-0,002	0,137

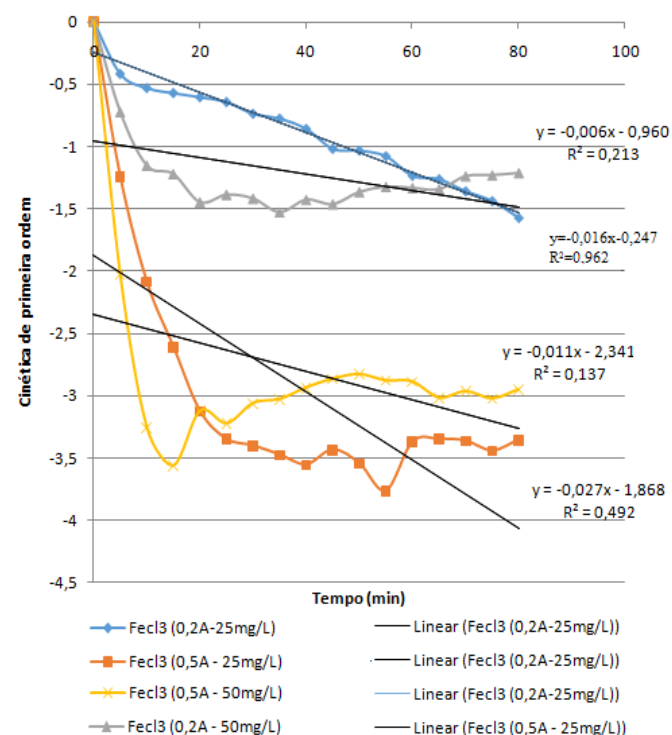


Figura 5. Variação da remoção da turbidez em função do tempo para cinética de primeira ordem para a eletrocoagulação com adição de Cloreto Férrico.

Analisando a Figura 4 e a Tabela XI, conclui-se que a reação para a eletrocoagulação sem a presença de coagulação adicional apresentou comportamento linear satisfatório para ambas as correntes utilizadas, sendo seus valores de  $R^2 = 0,943$  para 0,2A de corrente elétrica e velocidade de reação  $k = -0,002 \text{ uT min}^{-1}$  e  $R^2 = 0,976$  para corrente elétrica de 0,5A e velocidade de reação  $k = 0,046 \text{ uT min}^{-1}$ .

Observando a Figura 5 e a Tabela XI a eletrocoagulação com a adição do coagulante inorgânico cloreto férrico, apresentou comportamento linear para a cinética de primeira ordem somente para a concentração de  $25 \text{ mg.L}^{-1}$  e 0,2 A de corrente elétrica, apresentando um  $R^2$  de 0,962 e velocidade cinética  $K = 0,016 \text{ uT min}^{-1}$ .

A Figura 6 e a Tabela XI, observou-se que o coagulante orgânico Tanfloc SG não apresentou comportamento linear para a cinética de primeira ordem pois seus respectivos valores de  $R^2$  não foram próximos de 1.

## V. CONCLUSÕES

Para o estudo do comportamento cinético, somente o ensaio da eletrocoagulação com adição de  $25 \text{ mg.L}^{-1}$  de coagulante inorgânico cloreto férrico e 0,2 A de corrente elétrica; e os ensaios de 0,2A e 0,5A da eletrocoagulação sem uso de coagulante adicional apresentaram comportamento linear satisfatório para a cinética de primeira ordem.

## REFERÊNCIAS

- [1] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional de saneamento básico. 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2015.
- [2] BRASIL. Lei Federal nº 11.455, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário da União, Brasília, DF, 8 jan.
- [3] BENSADOK, K.; BENAMNAR, S. LAPICQUE, F.; NEZZAL, G. Eletrocoagulation of cutting oil emulsions using aluminium plate electrodes. Journal of Hazardous Materials, v.152, n.1, p. 423-430, junho, 2001.
- [4] COMBATT, Maria Paulina Mendonza. Aplicação da técnica de eletrocoagulação no tratamento de efluentes de abatedouros de aves. 2014. 58 f. Dissertação (Pós-graduação em Ciências e Tecnologias de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015. Disponível em: <[http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde\\_arquivos/39/TDE-2014-09-23T142657Z-5588/Publico/texto%20completo.pdf](http://www.tede.ufv.br/tesesimplificado/tde_arquivos/39/TDE-2014-09-23T142657Z-5588/Publico/texto%20completo.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2015.
- [5] THEODORO, Joseane Débora Peruço. Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. 2012. 185 f. Dissertação – Doutorado em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2012..
- [6] LEVENSPIEL, O. Engenharia das reações químicas. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 3a ed. Ed. da Universidade de São Paulo, v. 2, 2000.
- [7] Fonte. Google Earth Pro (2016).

- [8] APHA (American Public Health Association). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 Ed. Washington – DC; 2012.

# A study of the hydrodynamics behavior in a pilot scale bubbling fluidized bed biomass gasifier

João Cardoso<sup>a</sup>, Valter Silva<sup>a</sup>, Daniela Eusébio<sup>a</sup>, Paulo Brito<sup>a</sup>, Luís Tarelho<sup>b</sup>

<sup>a</sup>C3i – Interdisciplinary Center for Research and Innovation, Polytechnic Institute of Portalegre, Portalegre, Portugal

<sup>b</sup>Centre for Environmental and Marine Studies, Department of Environment and Planning, University of Aveiro, Aveiro, Portugal

*A computational 2-D Eulerian-Eulerian approach within the FLUENT database was developed to simulate the hydrodynamics of a biomass gasification process in a pilot-scale bubbling fluidized bed reactor. A comparative study using two granular solid phases (quartz sand and biomass) was performed. The mathematical model was validated under experimental results collected from a pilot-scale reactor and from fluidization curves gathered at different temperatures. Additional user defined functions were included to improve hydrodynamics and decrease deviations between experimental and numerical data found in previous works. Results indicated that the mathematical model predicted accurately the reactor's fluidization curve and solids volume fraction distribution along the bed. Solid species density and size revealed direct correlation in phases' volume fractions along the bed height.*

**Keywords—Hydrodynamics; Gasification; CFD modeling; Biomass; Bubbling fluidized bed.**

## I. INTRODUCTION

For decades fossil fuels have been dominating the world primary energy supply. However, global warming and climate change stimulated the interest around sustainable, environmentally friendly and renewable energy sources, capable of contributing to the global greenhouse gas reduction [1]. Currently, fossil fuels represent approximately 86% of the world energy consumption, whereas the striving renewable energies continue to increase but reaching only an approximate share of 3% by 2016 [1]. Nuclear power and hydroelectric account the remaining 11% share of the global primary energy consumption [2]. Biomass as a sustainable alternative to this dependency, sits as the fourth source of energy in the world, contributing with nearly 14% of the global supply. Its conversion into usable energy is achieved mostly by thermal conversion (combustion, gasification and pyrolysis), and by other possible routes such as, biochemical and chemical conversion, involving the use of microorganisms and chemical agents to reduce biomass into liquid fuels [3].

Fluidized bed technology is broadly used in several industries such as, chemical, pharmaceutical, mineral, petroleum, agricultural, food, and power-generation [4]. A relevant branch in this wide range of applications is biomass gasification for energy production [5]. Gas-solid fluidized bed reactors rely on a set of recognizable advantages, such as large surface contact area, rapid solid mixing, high rates of heat and mass transfer between gases and particles, low combustion temperature and low pollutant emissions [6].

The study of fluidized bed reactors hydrodynamics gained the attention of researchers, whom have tried to comprehend

the complex nature of the flow behavior and the many interactions between gas and particles. Asegehegn et al. [7] developed a 2-D hydrodynamic simulation of a gas-solid bubbling fluidized bed, implementing an Eulerian-Eulerian model approach. Authors investigated the bubble hydrodynamics, diameter and rise velocity. Results from numerical simulations were compared to experimental data with good agreement. Dinh et al. [8] investigated the hydrodynamics and heat transfer phenomena during biomass pyrolysis. Using a 2-D Eulerian multi-fluid model, authors showed how heat transfer within the bed is strongly dependent on solids concentration, and how the increasing inlet gas velocities promote mixing inside the fluidized bed reactor.

Our numerical model has been throughout constant improvement, and its implementation fitted to deal with municipal solid waste gasification and different gasification agents [9, 10]. Within the developed CFD model approach complex phenomena like hydrodynamics are described and considered, however the authors did not include a deep analysis concerning this particular subject.

The purpose of this work is to model and analyze within the ANSYS FLUENT framework, the parameters of interest over the fluidization process by using a 2-D multiphase model. A study was presented regarding the complex hydrodynamics phenomena in a bubbling fluidized bed gasifier. A better understanding of the biomass gasification process is presented, emphasizing solids influence in reactor's hydrodynamics. The mathematical model was validated versus fluidization curves gathered from the pilot scale gasifier at different temperatures. In addition, a detailed analysis is carried out considering the pressure drop as a function of the superficial velocity and the solids volume fraction and distribution within the bed.

## II. EXPERIMENTAL SETUP

### A. Pilot scale bubbling fluidized bed description

The analysis was performed in a pilot scale bubbling fluidized bed (BFB) gasifier located at the University of Aveiro, Portugal. Fig. 1 displays the schematics of the used gasification reactor. The unit consists in a thermally insulate pilot-scale 75kWth BFB gasifier made of AISI 310 SS with a reaction chamber of 0.25m internal diameter and height of 2.3 m. The bottom bed has a static height of 0.23m and comprises 17 kg of sand, high in quartz content, and particles size ranges between 355 $\mu$ m to 710 $\mu$ m. Dry atmospheric air is used as gasification agent, and is fed throughout the distributor plate



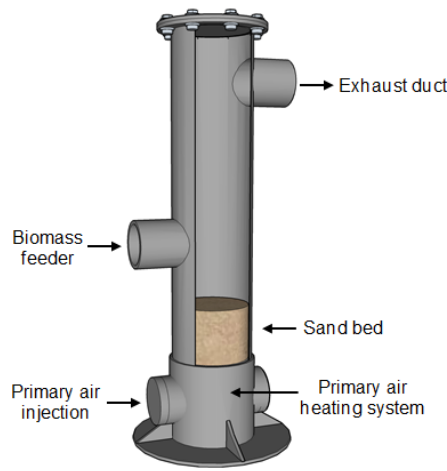


Fig. 1. Schematics of the pilot-scale bubbling fluidized bed reactor.

located at the bottom of the sand bed, forming the primary air injection. Biomass is delivered by a screw feeder at the bed surface, 0.30 m above the distributor plate. Bed temperature is controlled between desired ranges by eight water-cooled probes arranged along the bed level. Temperature and pressure along the reactor are monitored through a set of nine water-cooled sampling probes placed at different heights along the reactor (two immersed in the bed, the remaining situated along the reactor freeboard).

### B. Computational model set up

The computational geometry domain refers to a 2-D bubbling fluidized bed reactor of width 0.25 m and height of 2.3 m. The gasifier is initialized with quartz sand up to a height of 0.23 m. Air is introduced at the bottom of the reactor. Resulting gas leaves the reactor throughout an outlet placed at the top right corner of the geometry. Detail simulation conditions are listed in Table I.

TABLE I. SIMULATION CONDITIONS [11, 12].

Quartz sand density (kg/m <sup>3</sup> )	2650
Quartz sand average diameter (m)	0.0005
Quartz sand specific heat (J/kg/K)	830
Biomass density ( <i>eucalyptus globulus</i> ) (kg/m <sup>3</sup> )	478
Biomass average diameter (m)	0.005
Biomass specific heat (J/kg/K)	1374
Operating temperatures (K)	873, 973, 1073
One solid phase initial volume fraction	0.56
Two solid phases initial volume fraction	0.60
Maximum packing limit	0.63
Drag model (user defined function)	Syamlal-O'Brien
Heat interaction (solid-air/solid-solid)	Gunn/Tomyama
Thermal conductivity (W/m/K)	user defined funct.
Granular bulk viscosity (Kg/m/s)	Lun-et al.

### III. MATHEMATICAL MODEL

The implemented 2D Eulerian–Eulerian mathematical model was firstly developed by Silva et al. [10, 13]. Complex phenomena concerning the gasification process for the pilot-scale BFB reactor is simulated by means of a multiphase (gas and solid) model within a FLUENT database. The gas phase was considered as a continuum, and the solid phase was modeled following an Eulerian granular model. Interactions between the two phases were simulated, and both phases exchange heat, momentum, and mass. The hydrodynamics of the pilot-scale BFB is closely discussed in this study. Additional user defined functions were included to improve hydrodynamics and decrease deviations between experimental and numerical data found in previous works [10, 13].

Table II holds the main governing equations regarding energy, mass, momentum, turbulence, drag, and granular temperature approach for both gas and solid phases. Since the present model is already well documented in recent literature, only key points will be highlighted. Additional details on the model can be found elsewhere [9, 10, 13].

TABLE II. HYDRODYNAMIC MODEL, DRAG, TURBULENCE AND CONSERVATION EQUATIONS FOR BOTH GAS AND SOLID PHASES.

Hydrodynamic model
Granular Eulerian model:
$\frac{3}{2} \left[ \left( \frac{\partial(\rho_s \alpha_s \theta_s)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_s \alpha_s \vec{v}_s \theta_s) \right) \right] = (-P_s \bar{I} + \bar{\tau}_s) : \nabla(\vec{v}_s) + \nabla \cdot (k_{sa} \nabla(\theta_s)) - \gamma_{sa} + \varphi_{1s}$
Syamlal – O'Brien drag model:
$K_{gs} = \frac{3}{4} \frac{\alpha_s \alpha_g \rho_g}{v_{rs}^2 d_s} \left( 0.63 + \frac{4.8}{\sqrt{Re_s / v_{rs}}} \right) \left( \frac{Re_s}{v_{rs}} \right)  \vec{v}_s - \vec{v}_g $
Turbulence model:
$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k$
$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon$
Conservation equations
Gas phase (Energy):
$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \rho_g v_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g v_g h_g) = -\alpha_g \frac{\partial}{\partial t} (p_g) + \tau_g : \nabla(v_g) - \nabla q_g + S_g + \sum_{s=1}^n (\vec{Q}_{sg} + \dot{m}_{sg} h_{sg})$
Gas phase (Mass):
$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \rho_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g v_g) = -M_c \sum \gamma_c R_c$
Gas phase (Momentum):
$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_g \rho_g v_g) + \nabla \cdot (\alpha_g \rho_g v_g v_g) = -\alpha_g \nabla p_g + \alpha_g \rho_g g + \beta(v_g - v_s) + \nabla \cdot \alpha_g \tau_g + S_{gs} U_s$
Solid phase (Energy):
$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s v_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s v_s h_s) = -\alpha_s \frac{\partial}{\partial t} (p_s) + \tau_s : \nabla(v_s) - \nabla q_s + S_{ps} + \sum_{s=1}^n (\vec{Q}_{sg} + \dot{m}_{sg} h_{sg})$
Solid phase (Mass):
$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s v_s) = M_c \sum \gamma_c R_c$
Solid phase (Momentum):
$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_s \rho_s v_s) + \nabla \cdot (\alpha_s \rho_s v_s v_s) = -\alpha_s \nabla p_s + \alpha_s \rho_s g + \beta(v_g - v_s) + \nabla \cdot \alpha_s \tau_s + S_{sg} U_s$

## IV. RESULTS AND DISCUSSION

## A. Model validation

The model detailed in section III is a sub-model of one previously developed by Silva et al. [10, 13]. In this work the focus relies on this sub-model. For this purpose some improvements were introduced, namely with the inclusion of user defined functions concerning drag and thermal conductivity of fluid and solids. Although a better agreement in the syngas composition was detected between experimental and numerical results, authors had never validated hydrodynamics alone due to restrictions of previous validations were made in a 250 kW<sub>th</sub> semi-industrial fluidized bed reactor. Thus, the authors validated here the implemented sub-model, by predicting fluidization curves at different temperatures in a 75 kW<sub>th</sub> fluidized bed reactor. For this purpose experimental fluidization curves were measured.

A fluidization curve retrieved from a 75 kW<sub>th</sub> pilot scale fluidized bed gasifier operating at 873 K, measured at 0.18 m from the distributor plate, was used to validate the model. Fig. 2 relates the experimental run and the deviation between experimental and numerical results for the pressure drop at different fluidization velocities. Numerical values were gathered by simulating the fluidized bed in the same experimental operating conditions for one solid granular phase, quartz sand. This sort of curve demonstrates that the pressure drop increases with the superficial air velocity at a point in which the velocity is sufficiently high, that the drag force matches the opposing weight of the bed. At this point the condition of minimum fluidization velocity is reached, the bed becomes fluidized and its height starts to increase.

The numerical model predictions fit the fluidization curve obtained from the experimental runs with good agreement. The model was capable of predicting the curve slope until it reaches the steady state pressure. Despite some differences, the simulated pressure drop was consistent with the calculations based on experimental pressure drop measurements. Considering that the results of this model predicted the trends effectively, one can confidently assume that the hydrodynamics sub-model is also sufficiently robust. Despite not shown here, results indicated similar deviations at other temperatures (973K and 1073K) and reactor heights (inlet and height of 8 cm).

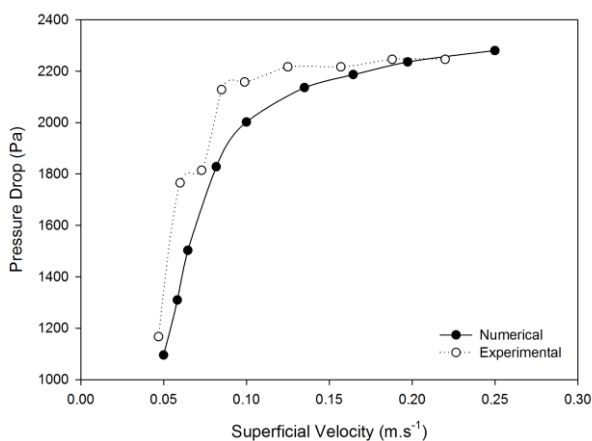


Fig. 2. Comparison between experimental and numerical pressure drop as function of superficial air velocity at 873K.

## B. Fluidized bed hydrodynamics

After model validation, and considering that in practice, biomass, although in smaller amounts, makes constitutive part of the reactor's bottom bed alongside with quartz sand, it is of main interest to understand the behavior of the two solids interaction, allowing to bring the simulation closest to real operating conditions. The inclusion of the two solids was performed by employing the biomass material characteristics within the simulation setup. In the gasification simulation, biomass fuel considered was eucalyptus (*eucalyptus globulus*), with an average particle diameter of 500  $\mu\text{m}$ . Interactions between biomass and sand were implemented by using user defined functions concerning drag and heat transfer. All the other solid-solid interactions such as collisions were left as defined by FLUENT framework. It should be noted that the mentioned improvement with the syngas composition by using this hydrodynamics model was already achieved with biomass inclusion.

Contours of the solids volume fractions were obtained to better understand the fluidized bed hydrodynamics. Fig. 3 refers to quartz sand and biomass volume fractions, of the reactor operating at a constant temperature of 873K with a superficial air velocity of 0.25m/s (pressure drop plateau). The formation of small bubbles due to air inflow from the bottom of the reactor is observed in the early stages of simulation. Bubbles rise along the wall and grow in the axial direction (especially between 1 and 1.4s); either leaving through the bed freeboard, or coalescing with smaller bubbles forming larger ones until the bed top is reached. Such behavior can be found with close match in the literature [14, 15]. The component forming the reactor's bed, quartz sand, prevails in considerably larger amount when compared to biomass. This makes physical sense once in a real procedure only a small quantity of biomass is continuously fed into the reactor. In addition, the disposition of the two species concerned are distinct, while sand prevails in the bottom and middle of the reactor's bed, biomass rises to the bed top by the action of the uprising gas flow [8]. Further discussion is found in the next section.

## C. Quartz sand volume fraction profile along simulation time

Fig. 4 shows the quartz sand volume fraction along the reactor bed height for a superficial air velocity of 0.25m/s, at a constant temperature of 873K. Hot colors correspond to the high sand volume fraction. For simplification purposes, only the dominant bed material, quartz sand, volume fraction is presented. Quartz sand and biomass concentrations along bed height are discussed in the next sub-section. The sand volume fraction profile was measured by means of a vertical centerline along the reactor height (0-2.3m). The graphic allows the perception of the sand particles distribution within the bed for a total simulation time of 1.4s. Sand particles show a constant distribution along the whole static bed height (0.23m) at the starting point of the simulation (0s). The initial volume fraction is consistent with the input simulated maximum packing value, 0.56. As the simulation time increases, and until the fluidization state is attained, the solids volume fraction accompanies the bed expansion, leading to an increase at the top of the bed. Notice that the particles distribution becomes

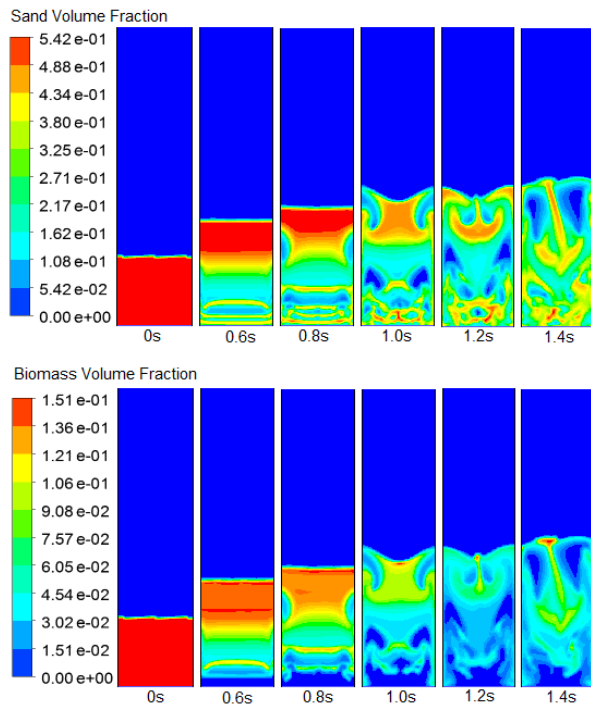


Fig. 3. Contours for quartz sand and biomass volume fractions.

more notorious at the bottom as time increases, this trend is consistent with the fluidized bed behavior [16]. Given that the fluid and solid slow down and change their flow direction at the top and bottom on the bed, the fluidized material tends to accumulate in these regions. Such statement is also supported by lower volume fraction intensity along the center of the bed, as shown in the graph.

#### D. Solid phases volume fraction along bed height

Distribution of two granular solid phases (biomass and sand) during fluidization was measured along the reactor bed height for a superficial air velocity of 0.25 m/s, at a constant temperature of 873 K. Volume fractions along the bed height were measured by means of a reactor centerline. Biomass particles mainly accumulate at the middle and upper bed regions, as practically no biomass is seen at the bottom of the reactor. On the other hand, sand particles tend to build up at the bottom of the reactor, as seen in Fig. 5. However, high sand volume fraction peaks can also be found at the top of the bed. This can be justified in part by the larger sand proportion present in the bed, which occupies most of the bed height region. In addition, the superficial gas velocity applied (0.25 m/s) will induce a bubbling regime forcing the sand particles to the bed top. Segregation differences among the two solids types depend on the size ratio effect of biomass-sand mixture, where density and size differences regarding the two solids subject the solids distribution in the bed [8]. Biomass as the lightest tends to rise to the bed top, whereas sand as the heaviest sinks at the bottom of the bed. This distribution is in good agreement with the literature [8].

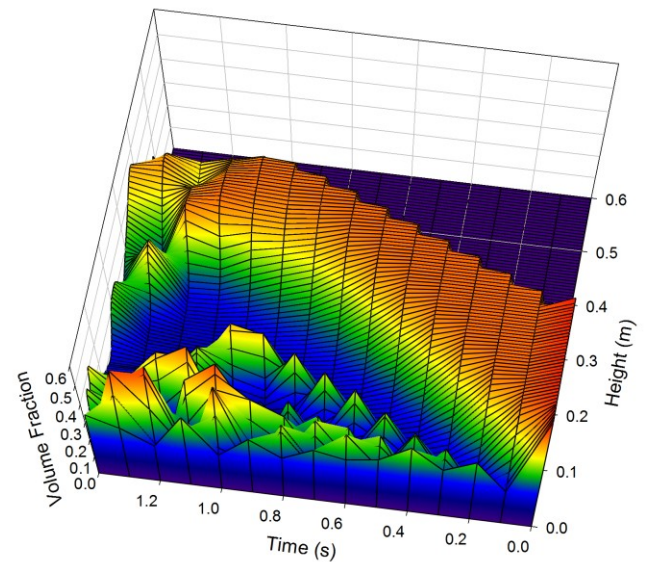


Fig. 4. Quartz sand volume fraction profile (measured by a reactor centerline) throughout the bed height along simulation time.

#### E. Biomass velocity vectors

Biomass and sand particles movement within the fluidized bed is promoted by gas bubbles flow along the bed height. Fig. 6 depicts the velocity vector profile of biomass particles along the fluidized bed, at a superficial gas velocity of 0.25 m/s, and constant temperature of 873 K. Results show higher biomass particles velocity in the near-wall region, mainly in the first steps of the simulation time, whereas at 1.2 s biomass velocity increases near the reactor's center-line. The upper-bed region reveals higher biomass velocities when compared to the lower part. Usually, biomass circulation is predominant upwards at the reactor's center-line and downwards in the near-wall region. Once biomass particles reach the bed freeboard, they sink due to collapsing of gas bubbles. This up and down pattern of solids movement along the bed height results in collisions between uprising and down-rising particles which lead to good mixing properties, advantage by which fluidized beds are well-known, leading also to the appearance of vortices along the velocity vector profile. Simulated velocity vectors are in good agreement to the literature [8].

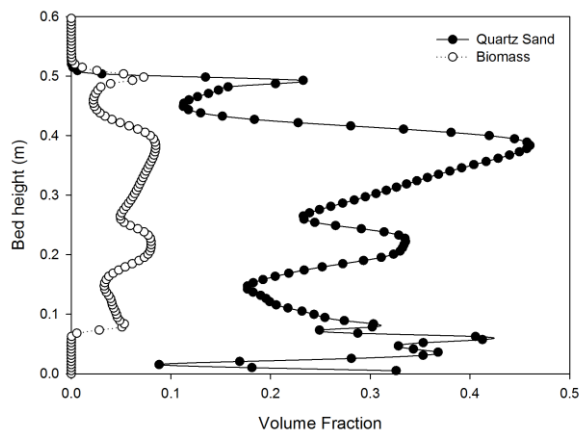


Fig. 5. Comparison between biomass and quartz sand volume fractions along the bed height, measured by means of a vertical centerline ( $t=1.4s$ ).

## V. CONCLUSIONS

The gas-solid hydrodynamics in a pilot-scale bubbling fluidized bed biomass gasifier was studied by means of a 2-D CFD model. Simulations were performed to study the hydrodynamics on fluidization of a biomass-sand mixture. Model validation was achieved by comparison to experimental results from gasification runs in a pilot scale fluidized bed and from fluidization curves gathered at different temperatures. Results regarding fluidization curves, and solids volume fraction profiles have shown to reproduce reactor's hydrodynamic behavior with a satisfactory outcome. Fluidized bed profiles indicated that biomass particles tend to distribute in the middle and upper regions of the bed. Sand particles were found to accumulate at the bottom of the reactor, but also large peaks were detected at higher regions over the bed. This distribution showed a close correlation with the species density and particle sizes.

Overall, the applied numerical model appropriately satisfied the correct hydrodynamic behavior concerning the operating settings.

## ACKNOWLEDGMENT

We would like to express our gratitude to the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) for the project IF/01772/2014.

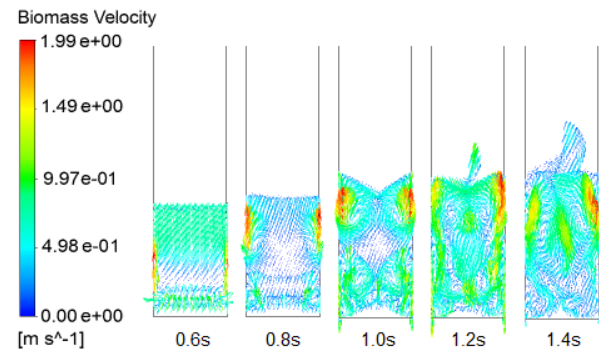


Fig. 6. Velocity vector profile of biomass particles during simulation time.

## REFERENCES

- [1] G. Xue, M. Kwapinska, A. Horvat, Z. Li, S. Dooley, W. Kwapinski, and J.J. Leahy, "Gasification of *Miscanthus x giganteus* in an Air-Blown Bubbling Fluidized Bed: A Preliminary Study of Performance and Agglomeration," *Energy&Fuels*, vol. 28, pp. 1121-1131, 2014.
- [2] F. Moraga, R. Bonetto, and R. Lahey, "Lateral forces on spheres in turbulent uniform shear flow," *Inter. J. of Multi. Flow*, Vol. 25, pp. 1321-1372, 1999.
- [3] R. Saidur, E. Abdelaziz, A. Demirbas, M.S. Hossain, and S. Mekhilef, "A review on biomass as a fuel for boilers," *Renew. and Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, pp. 2262-2289, 2011.
- [4] D. Kunii, O. Levenspiel, *Fluidization Engineering*, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, Inc.1991.
- [5] D. Pio, L. Tarelho, and M. Matos, "Characteristics of the gas produced during biomass direct gasification in an autothermal pilot-scale bubbling fluidized bed reactor," *Energy*, vol. 120, pp. 915-928, 2017.
- [6] X. Lv, H. Li, and Q. Zhu, "Simulation of gas-solid flow in 2D/3D bubbling fluidized beds by combining the two-fluid model with structure-based drag model," *Chem. Eng. J.*, vol. 236 pp. 149-157, 2014.
- [7] T. Asegehegn, and H. Krautz, "Hydrodynamic simulation of gas-solid bubbling fluidized bed containing horizontal tubes," in *Proceedings of the 20th international conference on fluidized bed combustion*: Springer Berlin Heidelberg. pp. 864-869, 2010.
- [8] C. Dinh, C. Liao, and S. Hsiao, "Numerical study of hydrodynamics with surface heat transfer in a bubbling fluidized-bed reactor applied to fast pyrolysis of rice husk," *Adv. Pow. Tech.*, vol. 28, pp. 419-429, 2017.
- [9] N. Couto, V. Silva, and A. Rouboa, "Municipal solid waste gasification in semi-industrial conditions using air-CO<sub>2</sub> mixtures," *Energy*, vol. 104, pp. 42-52, 2016.
- [10] V. Silva, and A. Rouboa, "Using a two-stage equilibrium model to simulate oxygen air enriched gasification of pine biomass residues," *Fuel Process. Tech.*, vol. 109, pp. 111-117, 2013.
- [11] I. Afroz, C. Sinnathambi, S. Karuppanan, and D. Ching, "CFD Simulation of Bubbling Fluidized bed: Effect of Distributor Plate Orifice Pattern Configuration on Hydrodynamics of Gas-Solid Mixing," *ARNP J. of Eng. and Appl. Sci.*, vol. 11, pp. 11954-11959, 2006.
- [12] A. Sharma, S. Wang, V. Pareek, H. Yang, and D. Zhang, "CFD modeling of mixing/segregation behavior of biomass and biochar particles in a bubbling fluidized bed," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 106, pp. 264-274, 2014.
- [13] V. Silva, E. Monteiro, N. Couto, P. Brito, and A. Rouboa, "Analysis of Syngas Quality from Portuguese Biomasses: An Experimental and Numerical Study," *Energy&Fuels*, vol. 28, pp. 5799-5777, 2014.
- [14] X. Chen, D. Shi, X. Gao, and Z. Luo, "A fundamental CFD study of the gas-solid flow field in fluidized bed polymerization reactors," *Pow. Tech.*, vol. 5, pp. 276-288, 2011.
- [15] Q. Xue, T.J.Heindel, and R.O.Fox, "A CFD model for biomass fast pyrolysis in fluidized-bed reactors," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 66, pp. 2440-2452, 2011.
- [16] M. Kashyap, D. Gidaspow, and M. Driscoll, "Effect of electric field on the hydrodynamics of fluidized nanoparticles," *Pow. Tech.*, vol. 183, pp. 441-453, 2008.





# Study of Biodiesel Production through Esterification Catalysed by Imidazolium-based Ionic Liquids

Alimova, I., Ribeiro, A.E., Queiroz, A.M.

Department of Chemical and Biological Technology  
School of Technology and Management,  
Polytechnic Institute of Bragança  
Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

Brito, P.

Department of Chemical and Biological Technology  
School of Technology and Management,  
Polytechnic Institute of Bragança  
Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal  
paulo@ipb.pt

**Abstract**—Biodiesel is an alternative diesel fuel which is industrially produced from vegetable oils and animal fats, by transesterification reactions. Thus, currently most commercial biodiesel is produced from oils, using alkaline catalysts. On the other hand, conventional mineral acid catalysts like sulfuric acid, are commonly used for catalyzing esterification reactions of fatty acids which also produce biodiesel. However, Ionic Liquids (ILs) offer an alternative solution to classical homogeneous catalysts, because it can be recycled and reused in subsequent runs after recovery steps. An IL is a molten salt consisting of a cation and an anion, with low melting temperature. In this study, a Brønsted acidic IL, 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ([BMIM][HSO<sub>4</sub>]) was used as a catalyst in the esterification of oleic acid with methanol into biodiesel. The effect of different operation parameters such as oleic acid to methanol molar ratio, amount of catalyst, reaction temperature, and reaction time were tested. The optimal conditions for esterification of oleic acid were experimentally determined at 1/10 for oleic acid/methanol molar ratio, 2.5 %wt for the amount of catalyst, a reaction time of 4 h and reaction temperature of 90°C. The Fatty Acid Methyl Esters (FAMES) content was analyzed using Gas Chromatography.

**Keywords**— *biodiesel, optimization, esterification, ionic liquids*

## I. INTRODUCTION

### A. Biodiesel

Biodiesel is a renewable, biodegradable, non-toxic, sulfur-free, and environmentally clean alternative diesel fuel, which is composed by fatty acid methyl (or ethyl) esters, produced from renewable resources, such as vegetable oils, animal fats, and waste restaurant greases. One of the attractive characteristics of biodiesel is that its use does not require any significant modifications to diesel engines, so engines do not have to be dedicated for biodiesel [1]. Comparing to diesel fuels, biodiesel fuels show advantages in terms of sulfur content, flash point, aromatic content and biodegradability. Biodiesel contribute also with lower emissions than petroleum diesel, and do not contribute to a rise of the net concentration of carbon dioxide in the atmosphere, leading to a decreasing of intensity in greenhouse effects in global climate [2].

Biodiesel is usually produced by a transesterification reaction, by which the triglycerides present in the fat materials react with alcohols, in the presence of a catalyst, to produce

fatty acid alkyl esters. Glycerol is produced as a byproduct of this transesterification process. The most common alcohol used in biodiesel production is methanol, so biodiesel is typically constituted by a mix of fatty acid methyl esters (FAMES) [3]. The transesterification reaction occurs according to the chemical equation represented in Fig. 1.

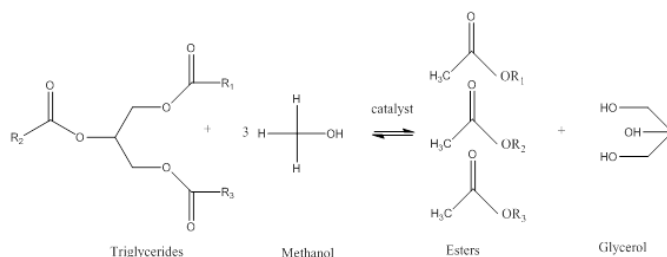


Fig. 1. Biodiesel synthesis by transesterification process from vegetable oils with methanol [4].

However for highly acidic vegetable oils, namely waste vegetable oils (WVOs), it is necessary to treat the raw materials in order to reduce its excessive acidity, which may introduce serious operational problems in the downstream processes. Thus, a previous esterification step of the free fatty acids present in the oils is required, which is usually catalyzed by conventional mineral acids, such as sulfuric acid. An esterification reaction occurs when a carboxylic acid (the fatty acid) reacts with an alcohol (usually methanol) to produce an ester (biodiesel) and water. Therefore, the main objective of the present work is to study the possibility of replacing classical catalysts typically used in esterification reactions, by an acidic ionic liquid [BMIM][HSO<sub>4</sub>], using oleic acid as a model reactant.

### B. Ionic Liquids

Ionic liquids (ILs) are defined as liquid state molten salts at low temperatures (below 100°C). They are composed of organic cations and either organic or inorganic anions, and were used as solvents/catalyst for reaction [5]. It is important to note that while these compounds may actually be solid at room temperature, they are typically referred to as liquids because they have a melting point below 100°C [6]. According to the cations, ionic liquids are divided into four classes: quaternary

ammonium ILs, N-alkylpyridinium ILs, N-alkyl-isoquinolinium ILs, and 1-alkyl-3-methylimidazolium ILs [7].

ILs possess properties such as: very low relative volatility (i.e., close to zero), wide liquids temperature range and significantly less toxicity compared to organic solvents. Additionally, they can be colorless, non-flammable, and show high catalytic activity, low viscosity, potential recyclability, being also easily manipulated and environmentally friendly. Moreover, they can be made miscible or immiscible with organic solvents and water. Thus, ILs which are regarded as green solvents, have received worldwide attention in several application fields including catalysis, electrochemistry, separation, and inorganic nanomaterials [8].

The most interesting characteristic of ILs is the possibility of designing a molecule aiming at a specific application or in order to obtain a certain set of properties such as melting point, viscosity, density, water solubility and selectivity [8]. Besides the use as solvents, ILs can be also used as sole catalysts in biodiesel production processes [9-10], either by esterification or transesterification paths. For these applications, Brønsted acidic ILs reveal to be highly efficient catalysts.

Specifically, imidazolium based ILs, due to its inherent ionic patterns, low pressure and ability of self-organization in different states, are the most studied IL species. This kind of ionic liquids have been progressively used as green solvents to replace the volatile and relatively toxic organic solvents, in homogeneous and heterogeneous catalysis, materials science, nanomaterials, lithium ion batteries, and separation technology [11-13].

The particular IL studied in this work is the acidic IL, 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ([BMIM][HSO<sub>4</sub>]), whose chemical structure is presented in Fig. 2.

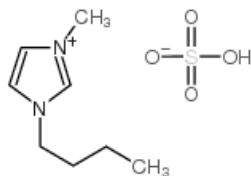


Fig. 2. Brønsted acidic IL, 1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate ([BMIM][HSO<sub>4</sub>]) chemical structure.

## II. MATERIALS AND METHODS

### A. Materials

- Ionic liquid (1-butyl-3-methylimidazolium hydrogen sulfate), [BMIM]HSO<sub>4</sub> ≥94.5%, Sigma Aldrich (Switzerland);
- Oleic acid, 65-88% Ph. Eur, Sigma Aldrich (Belgium);
- Methanol, Panreac for HPLC (99.9%);
- pH indicator phenolphthalein;
- Diethyl ether, Panreac (Spain);
- Absolute ethanol, Fisher Scientific (UK);

- 37 Component FAME Mix, Supelco.

### B. Esterification Reactions

The esterification was carried out in a 100 mL glass reactor with continuous stirring, connected to a reflux condenser and a thermometer. The calculated amounts of “oleic acid” (which is in fact a mix of fatty acids containing a large content: 65-88%wt, of oleic acid) and ionic liquid were mixed in the reactor, which was then immersed into a bath (water bath or paraffin, depending on the temperature) heated to the desired temperature. Then a specified quantity of methanol was added to the mix, which was continuously stirred at 300 rpm using a magnetic stir-bar. Each reaction test was carried out at an indicated temperature, time, oleic acid/methanol molar ratio and ionic liquid weight percentage in relation to the oleic acid sample weight.

After reaction reached the desired time, it was stopped; the reactor was then removed from the bath, and cooled to room temperature. The two phases formed (biodiesel light phase and aqueous heavy phase) were allowed to separate by decantation. Afterwards, the two phases were further separated by centrifugation during 20 minutes at 3000 rpm. The biodiesel light phase sample was recovered and analyzed for the determination of the reaction yield by volumetric titration, and qualitative and quantitative FAMES (Fatty Acid Methyl Esters) content by gas chromatography.

### C. Reaction Yield

The standard method to measure the acid value of biodiesel is a volumetric titration (acidity is expressed in mg KOH/g oil) using standard solution of KOH with concentration of 0.1 mol/L (EN 14104:2008 [14]). A solution of 1:1 diethyl ether/ethanol (v/v) was used as solvent for volumetric titration, and phenolphthalein was used as the indicator.

The acid value (AV) of biodiesel was calculated by:

$$AV = \frac{V \times C_{KOH} \times M_W}{m_{biodiesel}} \quad (1)$$

where,

$V$  – Volume of KOH standard solution needed to titrate biodiesel sample (mL);

$C_{KOH}$  – concentration of potassium hydroxide (KOH) standard solution (mol/L);

$M_W$  – molecular weight of KOH (56.1 g/mol);

$m_{biodiesel}$  – weight of biodiesel sample (g).

The biodiesel conversion was calculated using the following equation:

$$\text{Production Yield, } Y(\%) = \frac{AV_i - AV_f}{AV_i} \times 100 \quad (2)$$

where,

$AV_i$  – acidity of oleic acid (initial) (mgKOH/g<sub>oleic acid</sub>);

$AV_f$  – acidity of sample (after reaction) (mgKOH/g<sub>biodiesel</sub>).



#### D. Gas Chromatography

The FAME content in all samples was determined using gas chromatography (GC). All analyses were carried out on a Varian 3800 GC equipment, equipped with a Supelcowax 10 column (30m×0.25mm×0.25μm) with flame ionization detector (FID). The injector temperature was set to 250°C. Injector mode fixed with split 1:20, with total running time, 85 min. The oven temperature program was previously optimized and set as: temperature held 50°C for 2 min and then increased with a 4°C/min rate until reaching 220°C.

Each sample chromatogram was compared with the 37 FAME mix Supelco Sigma standard solution chromatogram (see Fig. 3), for identification of the peak associated to each FAME present in the sample.

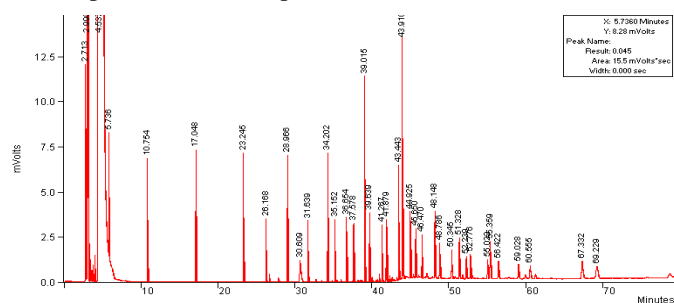


Fig. 3. Supelco 37 Component FAME Mix chromatogram using the Supelcowax 10 Column.

Therefore, by comparing obtained results with Supelco 37 Component FAME mix, all 37 FAME compounds were identified and quantified by relating the respective peak areas, using:

$$\%FAME_i = \frac{A_i}{\sum A_{FAMES}} \times 100 \quad (3)$$

where,

$A_i$  – area of the component  $i$  peak;

$\sum A_{FAMES}$  – is the total area of peaks identified as FAMES.

### III. RESULTS

The influence of different reaction parameters on the biodiesel yield was studied in this work. Optimization parameters are classified into four main sections: 1) reaction time (h); 2) reaction temperature (°C); 3) oleic acid /methanol molar ratio 4) ionic liquid amount (%wt).

The biodiesel yield was measured using different reaction times (1-2-3-4-6 hours), reaction temperatures studied were 60-70-80-90-100-110°C, with oleic acid/methanol molar ratios ranging from 1/1; 1/2; 1/5; 1/10; 1/15, for different percentages (2.5; 5; 7.5; 10; 12.5%wt) of [BMIM]HSO<sub>4</sub> ionic liquid.

#### A. Reaction Time

The reaction time was studied within the range between 1h and 6h, for a reaction temperature of 80°C. Experimental results presented in Fig. 4 show that the increase of the reaction time shifts the reaction equilibrium to the products, thus

increasing biodiesel yield. According to this plot, it can be seen that the biodiesel yield gradually increases with the rising of the reaction time. However, as the yield increasing rate is relatively low, it is assumed an optimal value around 4h.

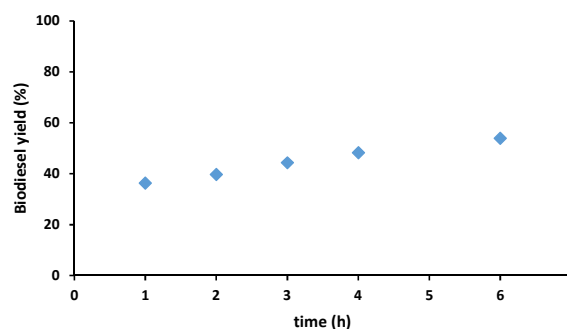


Fig. 4. Effect of the reaction time on the biodiesel yield (80°C, oleic acid/methanol molar ratio 1/2, 10% IL).

#### B. Reaction Temperature

In the following set of experiments the reaction yield was studied using a temperature range from 60°C to 110°C, using a reaction time of 4h. Increase in reaction temperature speeds up the reaction rate, and therefore increases the product yield. So, the results obtained clearly show that an increasing of temperature influences the biodiesel yield (see Fig. 5). As it can be seen from experimental results the conversion gradually increases with the temperature rise, and after reaching 90°C remains at an approximately stable position. Further increasing of temperature (100 and 110°C) does not lead to significant rising in biodiesel yield, indicating that the reaction is close to equilibrium. As a consequence, it can be considered 90°C as an optimal temperature.

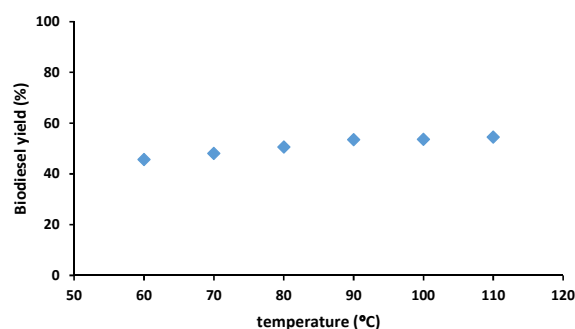


Fig. 5. Effect of the reaction temperature on the biodiesel yield conversion. (4h, oleic acid/methanol molar ratio 1/2, 10% IL).

#### C. Oleic Acid/Methanol molar ratio

In order to achieve the best conditions for biodiesel production, the experiments were carried out at a temperature of 90°C, with a reaction time of 4h, and using oleic acid/methanol molar ratios of 1/1, 1/2, 1/5, 1/10 and 1/15. The obtained experimental results are presented in Fig. 6. Biodiesel yield at reaction time, 4h and 90°C, significantly rise with increasing methanol concentration. For lower molar ratios, higher values result in higher biodiesel conversions until a

maximum point is achieved at 89.7%, using oleic acid/methanol molar ratio of 1/10. Therefore, according to the experimental results, the optimal molar ratio of methanol to oleic acid is considered to be 1/10.

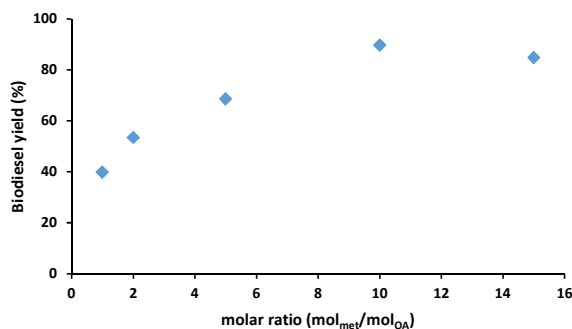


Fig. 6. Effect of the oleic acid(OA)/methanol molar ratio on the biodiesel yield. (4h, 90°C, 10% IL).

#### D. Catalyst amount

Varying amounts of catalyst [BMIM]HSO<sub>4</sub>: 2.5; 5; 7.5; 10; 12.5%wt (%wt =  $m_{IL}/m_{oleic\_acid} \times 100$ ) were studied at the following conditions: oleic acid/methanol molar ratio 1/10, during 4h, at constant temperature 90°C. Experimental results are presented in Fig. 7. With the increasing amount of catalyst, the reaction rate becomes higher. However, when the quantity of catalyst exceeds a certain value, the reaction rate showed no further increase with the rise of the amount of IL catalyst, and even show a slight decrease.

According to the results, the minimum reaction yield is obtained with 2.5%wt (85.0%) and gradually increases reaching 89.7% of yield when using 10% of ionic liquid. Afterwards it is observed a decrease for 12.5%wt with 85.9% yield. Therefore, the optimal amount of catalyst for the esterification reaction is considered as 10%.

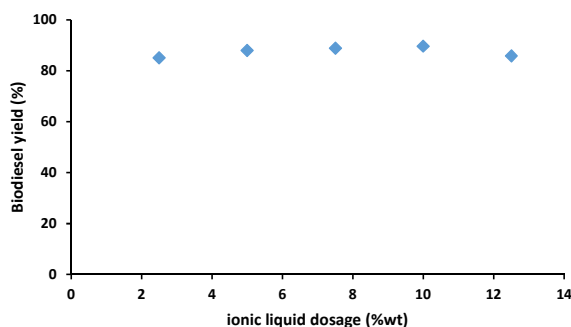


Fig. 7. Effect of the ionic liquid amount (%wt) on the biodiesel yield. (4h, 90°C, oleic acid/methanol molar ratio 1/10).

#### E. Gas Chromatography Analysis

All FAMES present in the biodiesel samples were identified by comparing the retention times of each sample chromatogram with the retention times of the same compounds present in the Supelco standard mixture (37 Component FAME Mix) analysis, using the same method and equipment.

Some peaks do not correspond to any of the standards, and thus cannot be positively identified based on the retention times. On the other hand, each peak does not necessarily represent just one compound. Since FAMES are the main components of biodiesel, individual peak identification was focused on these chemical species. Fig. 8 represents an example, corresponding to the experimental chromatogram obtained for a specific set of conditions.

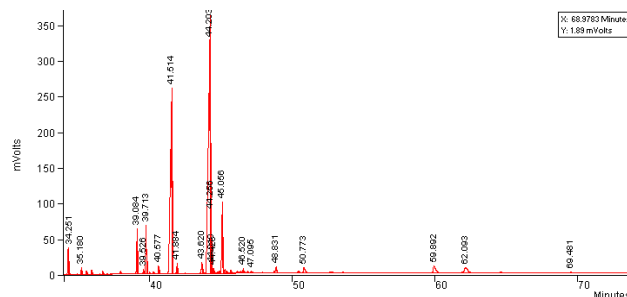


Fig. 8. Gas chromatogram of the sample used as an example. (4h, 80°C, 10% IL, oleic acid/methanol molar ratio 1/2).

According to the Fig. 8, the major peak which appears at 44.203min is associated to 2 FAMES, referring to the isomers oleic (C18:1n9c) and elaidic (C18:1n9t) acid methyl esters. Although the retention time of the corresponding standard is 43.910 min, which is slightly lower, the exit order of the sequence of FAMES, the relative higher size of the peak which is consistent for all the analyzed samples, and the expected larger quantities of oleic acid FAME in the biodiesel samples, supports the attribution of this peak to the oleic acid FAME. The peak at 45.056min also refers to two FAMES: the isomers linoleic acid methyl ester (C18:2n6c) and lenoleaidic acid methyl ester (C18:2n6t). At 41.514 min it appears a large peak referring to an internal standard added to the sample: heptadecanoic acid methyl ester.

Once the peak areas were obtained, the relative content of each methyl ester in the samples was calculated using eq. 3. The total weight quantities of FAMES were considered proportional to the sum of the areas of the identified methyl esters.

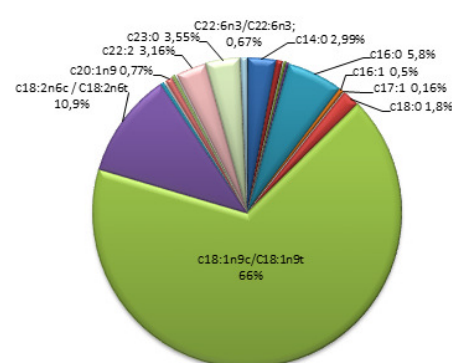


Fig. 9. Biodiesel FAME content(%wt). (4h, 80°C, 10% IL, oleic acid/methanol molar ratio 1/2).

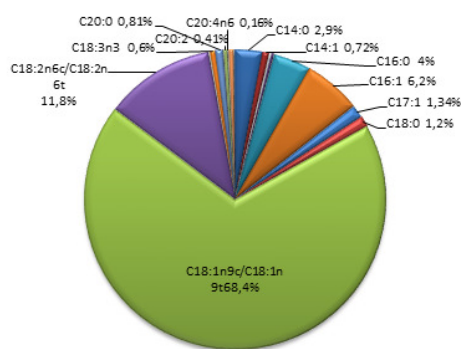


Fig. 10. Biodiesel FAME content(%wt). (4h, 90°C, 10% IL, oleic acid/methanol molar ratio 1/10).

Figs 9 and 10 represent the relative contents of FAMES present in biodiesel samples obtained for selected sets of reactional conditions. As it can be seen from the circular plots, the major components are C18:1n9c(oleic)/C18:1n9t(elaidic) and C18:2n6c(linoleic)/C18:2n6t(lenoleaidic) acid methyl esters.

#### IV. CONCLUSIONS

The influence of different reaction variables on the biodiesel yield was studied using BMIM[HSO<sub>4</sub>] ionic liquid as a catalyst. The investigation of the esterification of oleic acid parameters with this ionic liquid was conducted to generate the necessary information for the design of processes for obtaining high yield biodiesel. This study included the method development for analyzing the biodiesel samples using a gas chromatography.

Based on experimental results, the increasing of reaction time from 1h to 6h increased the yield of reaction. However, further increasing can lead to a rise of the yield.

There were tested five reactions with various amount of ionic liquid (2.5%; 5%; 7.5%; 10%; 12.5%) with constant temperature and reaction time. The reaction yield increased from 85.0% to 89.7%, but there was observed a decrease for the higher value (12.5%).

Rising operation temperature of the reaction from 60°C to 110°C increase the reaction yield from 45.6% up to 54.5%. At 90°C the biodiesel yield reached 53.4%.

At oleic acid/methanol ratio from 1/1 to 1/10, the yield of biodiesel produced increased, but decreased for the higher ratio (1/15).

Analyzing FAMES content of produced biodiesel samples, the major areas corresponds to C18:1n9c (oleic)/C18:1n9t

(elaidic) and C18:2n6c (linoleic)/C18:2n6t (lenoleaidic) acid methyl esters.

Consequently, according to studied parameters, optimal reaction conditions were established as: temperature, 90°C, reaction time, 4h, ionic liquid amount, 10%wt, and oleic acid/methanol molar ratio, 1/10.

#### REFERENCES

- [1] M.E. Tat., and J.H. Van Gerpen, "Physical properties and composition detection of biodiesel-diesel fuel blends," The Society for engineering in agricultural, food and biological systems, An ASAE Meeting Presentation, pp. 2-11, 2002.
- [2] A.C. Ahmia, F. Danane, R. Bessah, and I. Boumesbah, "Raw material for biodiesel production. Valorization of used edible oil," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 17, pp. 335-343, 2014.
- [3] S.K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, and M. Natarajan, "Review of biodiesel composition, properties, and specifications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 143-169, 2012.
- [4] Z. Ullah, M.A. Bustam, and Z. Man, "Biodiesel production from waste cooking oil by acidic ionic liquid as a catalyst," *Renewable Energy*, vol. 77, pp. 521-526, 2015.
- [5] F. Guo, Z. Fang, X. Tian, Y. Long, and L. Jiang, "One-step production of biodiesel from Jatropha oil with high-acid value in ionic liquids," *Bioresource Technology Journal*, vol. 102, pp. 6469-6472, 2011.
- [6] P.M. Bollin, "Production of fatty acid methyl esters in Lewis acidic ionic liquids", Master Thesis, University of Toledo, 2011.
- [7] E.A. Visser, J.G. Huddleston, J.D. Holbrey, W.M. Reichert, R.P. Swatloski, and R.D. Rogers. "Hydrophobic n-alkyl-N-isoquinolinium salts: ionic liquids and low melting solids", *ACS Symposium Series*, vol. 975, pp. 362-380, 2009.
- [8] L. Andreani, and J.D. Rocha, "Use of ionic liquids in biodiesel production: a review", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 29, pp. 1-13, 2012.
- [9] A.H.M. Fauzi, and N.A.S.Amin, "An overview of ionic liquids as solvents in biodiesel synthesis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 5770-5786, 2012.
- [10] Z.I. Ishak, N.A. Sairi, Y. Alias, M.K.T. Aroua, and R. Yusoff, "A review of ionic liquids as catalysts for transesterification reactions of biodiesel and glycerol carbonate production," *Catalysis Reviews*, vol. 59(1), pp. 44-93, 2017.
- [11] V.N. Emelyanenko, S.P. Verevkin, and A. Heintz, "Imidazolium-based ionic liquids. 1-methyl imidazolium nitrate: thermochemical measurements and ab initio calculations," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 113, pp. 9871-9876, 2009.
- [12] S.O. Woon, "Synthesis and applications of imidazolium-based ionic liquids and their polymer derivatives.", Doctoral Dissertation, Missouri University of Science and Technology, Paper 1958, 2012.
- [13] J. Dupont, and P.A.Z. Suarez, "Physico-chemical processes in imidazolium ionic liquids", *Physical Chemistry Chemical Physics*, vol. 8, pp. 2441-2452, 2006.
- [14] CEN - European Committee for Standardization, "EN 14214:2008 - Automotive fuels - Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines - Requirements and test methods," 2008.



# *Performance do processo de digestão anaeróbia na valorização energética de resíduos de kiwi*

Bárbara Gonçalves<sup>1</sup>

ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.  
bacamachog@gmail.com

Larissa Oliveira Paulista<sup>2</sup>

ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.  
larissa-paulista@hotmail.com

Cristiane Kreutz<sup>3</sup>

UTFPR, Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Campus Campo Mourão, Paraná, Brasil.  
cristiane.kreutz@gmail.com

Ramiro Martins<sup>3</sup>

DTQB da ESTiG Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal e LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto.  
rmartins@ipb.pt

**Resumo** — A produção mundial e o comércio de frutas geram perdas nas etapas de colheita, pós-colheita, manipulação, distribuição e consumo, correspondendo a 6,8% da produção total. Esses resíduos apresentam elevado potencial como substrato para um processo de digestão anaeróbia e geração de biogás. Dessa forma, avaliou-se a valorização energética dos resíduos agroindustriais da produção de kiwi por digestão anaeróbia, tendo como meta otimizar a produção de biogás e a sua qualidade. Foram desenvolvidos 10 ensaios em reator batch (500 mL) em condições mesófilas e variaram-se vários fatores operacionais: diferentes proporções para a razão substrato/inóculo; quatro valores distintos para a razão C:N; inóculo proveniente de diferentes digestores; e inóculo recolhido em épocas distintas do ano. Para controle e monitorização do processo foram usados os seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, ácidos gordos voláteis (AGV), sólidos voláteis (SV) e carência química de oxigénio (CQO). Entre os ensaios realizados, o melhor resultado obtido para a produção de biogás correspondeu à utilização de 2 g de substrato e 98 mL de inóculo do digestor anaeróbio da Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) de Bragança, com adição de 150 mg de bicarbonato de sódio, registando-se uma produção de 1628 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV (57% de metano). Já em relação à qualidade do biogás, o melhor resultado foi obtido com 20 g de substrato e 380 mL de inóculo da lama do digestor anaeróbio da ETAR do Ave (mais 600 mg de bicarbonato de sódio), apresentando um valor de 85% de CH<sub>4</sub>, com uma produção de 464 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV.

**Palavra-chaves**— biogás, kiwi, metano, reator batch, digestão anaeróbia.

## I. INTRODUÇÃO

A produção mundial e o comércio de frutas têm crescido de forma constante nas últimas décadas, porém acredita-se que 6,8% de toda a produção é perdida durante os processos de colheita, pós-colheita, manipulação, distribuição e consumo [1]. A maioria desses resíduos são depositados em aterros ou incinerados [2]. Contudo, essas práticas podem representar uma ameaça à saúde da população e ao ambiente

de modo geral [3], já que emitem gases com efeito de estufa, além de atrair vetores como insetos e roedores [1].

Os resíduos de fruta são caracterizados por um elevado teor de humidade e concentrações elevadas de matéria orgânica facilmente biodegradável [4]. Face a isto, esse tipo de resíduo tem sido considerado um substrato adequado para a produção de metano através do processo de digestão anaeróbia (DA) [5]. Este processo de degradação é realizado por microrganismos anaeróbios e inclui várias etapas reacionais que podem ser divididas em: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese [6]. O processo tem como produto final o material estabilizado e também biogás com elevada concentração de metano (50-65%), que pode ser utilizado como fonte de energia térmica ou elétrica [7], [8].

Estudos anteriores apontam que o rendimento em metano quando se utilizam resíduos de frutas e vegetais pode variar, mantendo-se, contudo, em valores razoavelmente elevados: 430 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para Scano *et al.* [9], 479, 5 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para Zhao *et al.* [10]. Gunaseelan [11] obteve 473,5 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para resíduos de limão, 448,5 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para resíduos de manga, entre outros. Zhao *et al.* [8] referem, contudo, que a literatura científica apresenta poucos estudos sobre a digestão anaeróbia de resíduos de frutas de forma isolada, já que na maioria dos casos os mesmos vêm associados a resíduos alimentares e outros resíduos vegetais. Dessa forma, diversos tipos de resíduos de frutas, como o kiwi, que têm uma produção anual considerável, ainda não foram devidamente considerados para a digestão anaeróbia.

Tendo isso em conta, este estudo teve como objetivo a valorização energética de resíduos de kiwi por digestão anaeróbia, mediante a realização de diversos ensaios experimentais em reator batch à escala laboratorial. A produção de biogás foi monitorizada e analisada por recurso a um sistema de medição em contínuo e foram analisados outros parâmetros, nomeadamente, pH, alcalinidade,

carência química de oxigénio (CQO), sólidos voláteis (SV) e ácidos gordos voláteis (AGV).

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

O reator selecionado para a realização das experiências foi do tipo batch, designadamente o sistema BCS-CH<sub>4</sub>biogas BlueSens, composto por: frasco de vidro (B) onde ocorre o processo de digestão; fluxímetro (C), que mede o volume de biogás gerado; sensor (D), que mede a qualidade do biogás (% CH<sub>4</sub>); e acessórios para interligação destes componentes (A, E e F) (Figura 1). Os dados de geração de biogás (mL) e a percentagem de metano (%) são processados a cada 20 segundos e registados em forma de gráfico num computador. Os reatores foram colocados sobre placas de agitação magnética para manter a mesma concentração em todos os pontos em resultado da agitação provocada pela rotação de uma barra magnética. Além disso, utilizou-se uma fita de aquecimento para manter a temperatura no interior dos reatores na gama mesofílica (35°C).

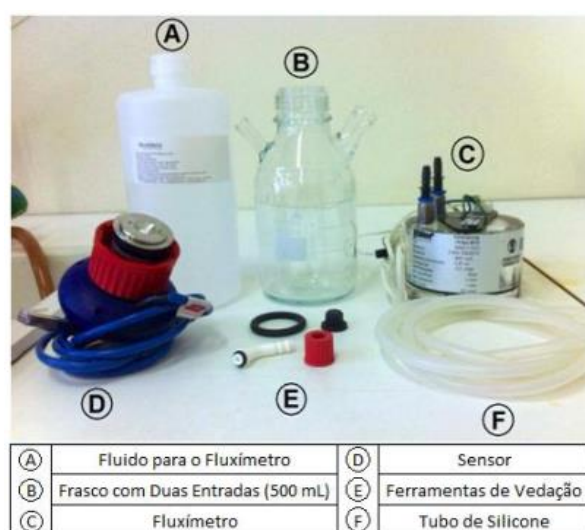


Fig. 1. Materiais utilizados para a montagem do sistema BCS-CH<sub>4</sub>biogas BlueSens.

O substrato utilizado foi resíduo de kiwi, recolhido numa unidade de distribuição alimentar da cidade de Bragança. O resíduo de kiwi foi cortado e triturado transformando-se numa substância pastosa. Esse material foi armazenado no frigorífico a 3-4°C até à sua utilização. Todas as experiências realizadas neste estudo utilizaram o mesmo resíduo preparado inicialmente e seu volume variou de acordo com o pretendido. Os parâmetros analisados são apresentados na Tabela 1.

TABELA I. PARÂMETROS ANALISADOS NAS EXPERIÊNCIAS.

Parâmetros	Métodos
pH	4500 H <sup>+</sup> B [12]
Alcalinidade	2330 B [12]
AGV	[13]
SV	2540 E [12]
CQO	5220 C [12]

O inóculo que é introduzido no reator desencadeia o processo, já que fornece microrganismos que facilitam a transformação da matéria orgânica (substrato). O inóculo escolhido para alimentar o sistema foi lama anaeróbia proveniente dos digestores anaeróbios da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Bragança e da ETAR do Ave e, ainda, de uma fossa séptica. O volume de inóculo introduzido variou de acordo com as condições previamente definidas para cada ensaio (Tabela 2).

TABELA II. ENSAIOS REALIZADOS E RESPECTIVA COMPOSIÇÃO (CONTINUA).

#	Experimento	Substrato (g)	Inóculo (mL)	NaHCO <sub>3</sub> (mg)	KNO <sub>3</sub> (mg)	Lama
1	1.1	1	99	150	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	1.2	2	98	150	-	
	1.3	3	97	150	-	
	1.4	4	96	150	-	
2	2.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	2.2	4	196	300	-	
	2.3	6	194	300	-	
	2.4	8	192	300	-	
3	3.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	3.2	4	196	300	-	
	3.3	6	194	300	-	
	3.4	8	192	300	-	
4	4.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 03/11/2015
	4.2	4	196	300	-	
	4.3	6	194	300	-	
	4.4	8	192	300	-	

TABELA II. ENSAIOS REALIZADOS E RESPECTIVA COMPOSIÇÃO (CONTINUAÇÃO).

#	Experimento	Substrato (g)	Inóculo (mL)	NaHCO <sub>3</sub> (mg)	KNO <sub>3</sub> (mg)	Lama
5	5.1	4	96	150	166,51	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 07/03/2016
	5.2	4	96	150	66,57	
	5.3	4	96	150	33,36	
	5.4	4	96	150	16,61	
6	6.1	4	96	150	166,51	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 02/04/2016
	6.2	4	96	150	66,57	
	6.3	4	96	150	33,36	
	6.4	4	96	150	16,61	
7	7.1	2	198	300	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR de Bragança, recolhida em 07/04/2016
	7.2	4	196	300	-	
	7.3	6	194	300	-	
	7.4	8	192	300	-	
8	8.1	2	198	300	-	Lama Proveniente de Fossa Séptica, recolhida em 12/04/2016
	8.2	4	196	300	-	
	8.3	6	194	300	-	
	8.4	8	192	300	-	
9	9.1	12	388	600	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR do Ave, recolhida em 09/05/2016
	9.2	16	384	600	-	
	9.3	20	380	600	-	
	9.4	24	376	600	-	
	9.5	16	384	400	666,04	
10	10.1	12	388	600	-	Lama do Digestor Anaeróbio da ETAR do Ave, recolhida em 09/05/2016
	10.2	16	384	600	-	
	10.3	20	380	600	-	
	10.4	24	376	600	-	
	10.5	12	384	600	666,04	

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No início da experiência o pH da mistura no reator foi acertado a 7, adicionando-se também bicarbonato de sódio, 150 mg.L<sup>-1</sup>, de forma a providenciar uma alcalinidade adequada ao processo de digestão anaeróbia conforme descrito na literatura [14]. Quando o processo foi interrompido, aproximadamente ao fim de 360 horas, o pH situava-se entre 7 e 7,6 para todos os ensaios, se enquadrando nos valores considerados satisfatórios para o processo de DA, evidenciando que a alcalinidade adicionada foi suficiente para tamponar o meio.

A alcalinidade do meio foi ajustada para 1500 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, o que se revelou adequado, pois manteve a concentração de AGV no final entre 400-600 mg.L<sup>-1</sup>, gama que não inibe o processo. Verificou-se que a adição de nitrogénio, mediante adição de nitrato de potássio para avaliar o efeito da relação C:N, provocou inibição da atividade microbiana. O inóculo recolhido no inverno apresentou menor atividade microbiana, devido à baixa temperatura do ar e consequentemente do digestor anaeróbio.

Relacionando as produções de biogás (L biogás.kg<sup>-1</sup> CQO) e de metano (L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> CQO) foi possível obter as melhores condições em relação às quantidades adicionadas de substrato, inóculo, KNO<sub>3</sub> e NaHCO<sub>3</sub>. Valores de substrato inferiores a 5 g e entre 5 e 10 g conduziram a maiores produções, quer de biogás, quer de metano (Figura 2). O mesmo aconteceu com a utilização de 200 a 250 mL

de inóculo. Valores de KNO<sub>3</sub> superiores a 100 mg inibem o processo e os melhores resultados foram obtidos para uma alcalinidade correspondente à adição de NaHCO<sub>3</sub> entre 300 a 400 mg (Figura 2).

Além disso, o estado do inóculo tem grande influência no processo de digestão anaeróbia. Para inóculo recolhido de digestores não aquecidos, na época fria do ano, os resultados não foram satisfatórios. Tal vem comprovar que temperaturas próximas de 0°C correspondem a uma população microbiana com reduzida atividade, tornando a sua utilização inapropriada para o processo de digestão anaeróbia, havendo a necessidade de aumentar o tempo de retenção hidráulica (TRH).

Em relação ao volume de biogás produzido, o melhor resultado obtido (1628 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV) foi correspondente ao ensaio (2.1) (1% de substrato em massa), com 57% de CH<sub>4</sub> (Figura 3). Já em relação à qualidade do biogás, expressa em percentagem de metano, o melhor resultado foi o obtido no ensaio (10.3) (5% de substrato em massa), em que se registou um valor de 85% (Figura 4), com uma produção de 464 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV. A partir da experiência 8 e até final do estudo, conforme mostra a figura 4, foram registrados valores de volume de biogás com uma ordem de grandeza bastante superior aos das restantes semanas. Este facto pode ter como explicação a utilização nesses ensaios de um inóculo proveniente da ETAR do Ave. Dados de produção de biogás do digestor anaeróbio da ETAR do Ave (digestor com aquecimento) mostraram eficiências muito superiores aos digestores da ETAR de



Bragança (digestor sem aquecimento), o que esta correlacionado certamente com a qualidade do inóculo utilizado neste estudo. Peller e Gidarakos [15] relatam uma produção de metano de 259 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para resíduos de azeitona; Fabbri *et al.* [16] em 2016 registraram um valor médio de 169 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para bagaço de uva e Dinuccio *et al.* [17] apresentam valores de 218, 229 e 195 L CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> SV para resíduos de tomate, cevada e arroz, respetivamente. Neste estudo atingiram-se valores superiores aos obtidos em estudos similares utilizando outros resíduos agroindustriais, comprovando que o resíduo de kiwi possui características adequadas para o processo de digestão anaeróbia, sendo a sua valorização energética de extremo interesse.

Baseado em dados de Eriksson [18], o volume de biogás gerado no processo foi convertido no correspondente

volume de gás natural, atendendo ao poder calorífico do metano (5,7 kWh.Nm<sup>-3</sup>). Foi considerado para o efeito o ensaio a que corresponde o maior volume de biogás gerado (2.1), em que se registou uma produção de metano de 928 L.kg<sup>-1</sup> SV (1628 L biogás.kg<sup>-1</sup> SV; 57% CH<sub>4</sub>). Para o gás natural o conteúdo energético é de 11 kWh.Nm<sup>-3</sup> [18]; considerando o valor 0,0688 € do kWh no mercado doméstico, isto corresponde a um valor de 0,76 € por Nm<sup>3</sup> de gás natural. Tendo em consideração o conteúdo energético do biogás com 57% de CH<sub>4</sub> (1 Nm<sup>3</sup> biogás com 97% CH<sub>4</sub> = 9,67 kWh, [18]), por comparação com o gás natural obtém-se um valor de 0,39 € Nm<sup>-3</sup> de biogás. Atendendo ao teor de sólidos voláteis do kiwi (16% em massa), por tonelada de resíduo é obtido um valor monetário bruto de 102 €.

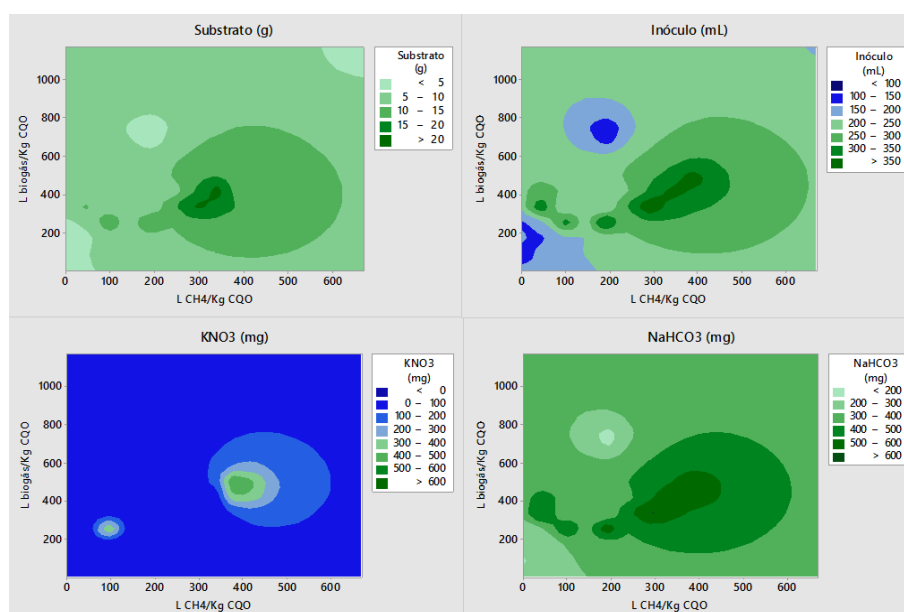


Fig. 2. Relação das condições iniciais.

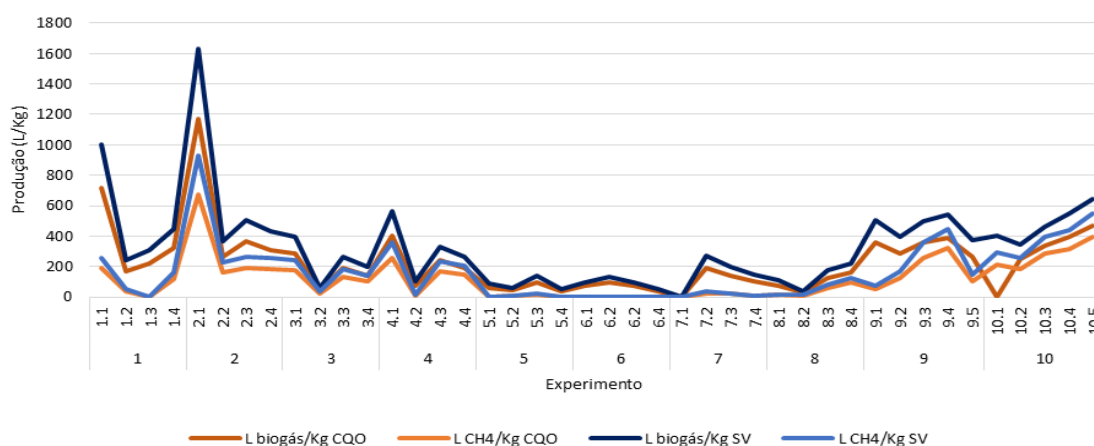


Fig. 3. Produção de biogás e metano

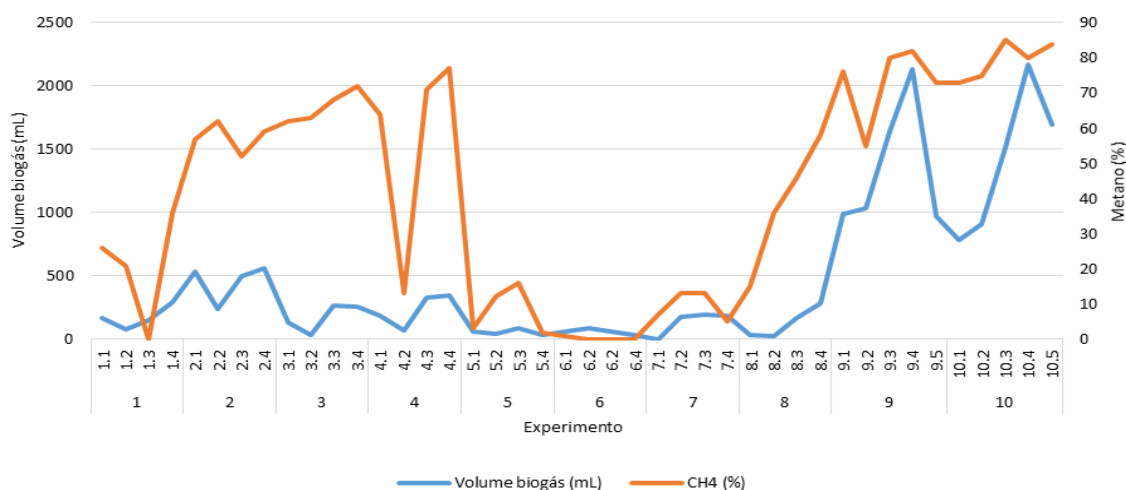


Fig. 4. Volume do biogás e percentagem de metano.

Diversos autores têm direcionado a sua investigação no sentido da valorização de resíduos sob o ponto de vista energético, ou mesmo resolver o problema com resíduos de diferentes tipos e origens. Na Tabela 3 são apresentados valores de produção de metano e qualidade de biogás para diferentes tipos de resíduo, incluindo os resultados mais favoráveis obtidos neste estudo.

Como se observa é ampla a gama do volume de metano gerado no processo de digestão anaeróbia, sendo que o valor obtido neste estudo é bastante satisfatório ( $931 \text{ L CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ SV}$ ). Alguns autores registaram percentagens de metano superiores a 50%, valor considerado ponto de partida para tornar economicamente interessante a valorização energética. Neste estudo, um dos ensaios (10.3) proporcionou um valor bastante significativo, em torno de 85%.

TABELA II. VALORES DE PRODUÇÃO E QUALIDADE DE  $\text{CH}_4$  PARA DIFERENTES RESÍDUOS

Tipo de substrato	$\text{L CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \text{ SV}$	% de $\text{CH}_4$ no biogás	Referência
Bagaco de Uva	169	51	[16]
Cevada	229	60	[17]
Citrinos	176	57	[19]
Cortes de gramas	226	61	[20]
Esterco de vaca	68	44	[20]
Frutas e vegetais	430	61	[21]
Laranja	658	62	[1]
Milho	317	68	[17]
Oliva	259	81	[15]
Resíduos sólidos urbanos	350	64	[22]
Talos de algodão	242	55	[23]
Tomate	218	70	[17]
Kiwi	928	57	Este estudo
Kiwi	464	85	Este estudo

#### IV. CONCLUSÃO

Das 10 experiências realizadas, em duas foram obtidos resultados muito interessantes em relação à literatura; o ensaio com 1% de substrato (experiência 2) proporcionou uma produção de biogás de  $1628 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ SV}$  com uma % $\text{CH}_4$  de 57% e o biogás de maior qualidade, com 85% de metano, foi obtido no ensaio com 5% de resíduo de kiwi (experiência 10.3). As experiências em que se avaliou o efeito da razão C:N foram as menos produtivas, possivelmente devido à inibição da atividade da população microbiana pelo  $\text{KNO}_3$ . A qualidade do inóculo revelou-se determinante num conjunto de ensaios, nomeadamente quando a sua colheita foi realizada no inverno, com o digestor a apresentar temperaturas bastante baixas. De acordo com os valores mais favoráveis para a produção de biogás, por tonelada de resíduo de kiwi poderá ser obtido um valor monetário bruto de 102 €, resolvendo-se um problema de eliminação deste resíduo, com valorização energética simultaneamente.

#### AGRADECIMENTO

Este trabalho foi financiado pelo Projeto POCI-01-0145-FEDER-006984 - Laboratório Associado LSRE/LCM - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

#### REFERÊNCIAS

- [1] A. P. Sanjaya, M. N. Cahyanto, R. Millati. Mesophilic batch anaerobic digestion from fruit fragments. *Renewable Energy*, vol. 98, pp. 135–141, 2016.
- [2] S. Nanda, J. Isen, A. K. & L. Dalai, J. A. Kozinski. Gasification of fruit wastes and agro-food residues in supercritical water. *Energy Conversion and Management*, vol. 110, pp. 296–30, 2016.
- [3] S. Kumar, N. Nimchuk, R. Kumar, J. Zietsman, T. Ramani, C. Spiegelman, M. Kenney. Specific Model for the Estimation of

- Methane Emission from Municipal Solid Waste Landfills in India. *Bioresource Technology*, vol. 216, pp. 981–987, 2016.
- [4] X. Fonoll, S. Astals, J. Dosta, J. Mata-Alvarez. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and fruit wastes: Evaluation of the transitory states when the co-substrate is changed. *Chemical Engineering Journal*, vol. 262, pp. 1268-1274, 2015.
- [5] Y. Wu, C. Wang, X. Liu, H. Ma, J. Wu, J. Zuo, K. Wang. A new method of two-phase anaerobic digestion for fruit and vegetable waste treatment. *Bioresource Technology*, 211, 16-23. 2016.
- [6] M. Piatek, A. Lisowski, A. Kasprzycka, B. Lisowska. The dynamics of an anaerobic digestion of crop substrates with an unfavourable carbon to nitrogen ratio. *Bioresource Technology*, vol. 216, pp. 607–612, 2016.
- [7] X. Fonoll, S. Astals, J. Dosta., J. Mata-Alvarez. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and fruit wastes: Evaluation of the transitory states when the co-substrate is changed. *Chemical Engineering Journal*, vol. 262, pp. 1268-1274, 2015.
- [8] C. Zhao, H. Yan, H. Liu, R. Zhang, C. Chen, G. Liu. Bio-energy conversion performance, biodegradability, and kinetic analysis of different fruit residues during discontinuous anaerobic digestion. *Waste Management*, vol. 52, pp. 295-301, 2016.
- [9] E. A. Scano, C. Asquer, A. Pistis, L. Ortu, V. Demontis, D. Cocco. Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. *Energy Conversion and Management*, vol. 77, pp. 22-30, 2014.
- [10] L. Zhang, Y. Lee, D. Jahng. Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology*, vol. 102, pp. 5048-5059, 2011.
- [11] V. N. Gunaseelan. Biochemical methane potential of fruits and vegetable solid waste feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, vol. 26, pp. 389-399, 2004.
- [12] APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. AmericanPublic Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Edition, Washington, 2012.
- [13] K. Buchauer. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment processes. *Water S. A*, vol. 24 (1), pp. 49-56, 1998.
- [14] S. Fiore, B. Ruffino, G. Campo, C. Roati, M. C. Zanetti. Scale-up evaluation of the anaerobic digestion of food-processing industrial wastes. *Renewable Energy*, vol. 96, pp. 949-959, 2016.
- [15] F. Pellerá, E. Gidarakos. Effect of substrate to inoculum ratio and inoculum type on the biochemical methane potential of solid agroindustry waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 4(3), pp. 3217–3229, 2016.
- [16] A. Fabbri, G. Bonifazi, S. Serranti. Micro-scale energy valorization of grape marcs in winery production plants, *Waste Management*, vol. 36, pp. 156–165, 2015.
- [17] E. Dinuccio, P. Balsari, F. Gioelli, S. Menardo. Evaluation of the biogas productivity potential of some Italian agro-industrial biomasses. *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 3780-3873, 2010.
- [18] O. Eriksson. Environmental technology assessment of natural gas compared to biogas. *Natural Gas*, Primoz Potocnik (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/9837, 2010. Available from: <https://www.intechopen.com/books/natural-gas/environmental-technology-assessment-of-natural-gas-compared-to-biogas>.
- [19] H. Su, F. Tan, Y. Xu. Enhancement of biogas and methanization of citrus waste via biodegradation pretreatment and subsequent optimized fermentation. *Fuel*, vol. 181, pp. 843-851, 2016.
- [20] T. G. Poulsen, L. Adelard. Improving biogas quality and methane yield via co-digestion of agricultural and urban biomass wastes. *Waste Management*, vol. 54, pp. 118-125, 2016.
- [21] E. A. Scano, C. Asquer, A. Pistis, L. Ortu, V. Demontis, D. Cocco. Biogas from anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes: Experimental results on pilot-scale and preliminary performance evaluation of a full-scale power plant. *Energy Conversion and Management*, vol. 77, pp. 22-30, 2014.
- [22] L. Martin-Gonzalez, L. F. Colturato, X. Font, T. Vicent. Anaerobic codigestion of the organic fraction of municipal solid waste with FOG waste from a sewage treatment plant: Recovering a wasted methane potential and enhancing the biogas yield. *Waste Management*, vol. 30, pp. 1854-1859, 2010.
- [23] M. Adl, K. Sheng, A. Gharibi. Technical assessment of bioenergy recovery from cotton stalks through anaerobic digestion process and the effects of inexpensive pre-treatments. *Applied Energy*, vol. 93, pp. 251-260, 2012.

# *Análise de um Sistema de Aquecimento Urbano no Campus do Instituto Politécnico de Bragança*

Paula V. Remor

Escola Superior Agrária (ESA)  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus Santa Apolónia  
5300-253 Bragança, Portugal  
paularemor94@gmail.com

Rafael Arioli

Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)  
Câmpus Medianeira  
85884-000 Medianeira, Paraná, Brasil  
arioli@utfpr.edu.br

João C. Azevedo

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA,  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus Santa Apolónia  
5300-253 Bragança, Portugal  
jazevedo@ipb.pt

Manuel Feliciano

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA,  
Instituto Politécnico de Bragança  
Campus Santa Apolónia  
5300-253 Bragança, Portugal  
msabenca@ipb.pt

**Resumo**— Um dos sistemas de aquecimento que se vem expandindo é o Aquecimento Urbano (*District Heating*), que possibilita o aquecimento de um conjunto de edifícios a partir de uma única central de aquecimento. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a possibilidade de converter o atual sistema de aquecimento do ar ambiente dos vários edifícios do Campus do Instituto Politécnico de Bragança, Portugal, num sistema de Aquecimento Urbano alimentado a biomassa florestal na forma de *pellets*. Deste modo, recorreu-se ao *software* RETScreen para modelar o sistema atual de aquecimento do campus assim como para construir modelos de sistemas de aquecimento alternativos com os quais foi posteriormente comparado em termos energéticos e ambientais. Os resultados indicam que um sistema de aquecimento urbano utilizando biomassa como combustível é uma alternativa com benefícios a nível das emissões de Gases de Efeito Estufa e em termos de custos energéticos. Assim sendo, a conversão do sistema atual do IPB a gás natural num sistema a biomassa deve ser equacionada como uma solução viável num futuro próximo.

**Palavras-chave** — *District Heating*; RETScreen; emissões de GEE; bioenergia; Bragança

## I. INTRODUÇÃO

O aquecimento sempre foi uma exigência humana básica, contudo, à medida que as sociedades se foram desenvolvendo e a população migrando para centros urbanos, este processo começou a exigir tecnologias mais eficientes [1].

O aumento das preocupações ambientais decorrentes da evolução crescente das emissões de Gases de Efeito Estufa associado ao uso de combustíveis fósseis, tem contribuído para a expansão, na Europa e na América do Norte, de

sistemas de Aquecimento Urbano (*District Heating*). O Aquecimento Urbano permite que um conjunto de edifícios sejam fornecidos de calor, água quente ou vapor de água a partir de uma fonte centralizada, para aquecimento de espaços físicos e/ou utilização direta [2].

A energia solar, geotérmica e da biomassa (bioenergia) são exemplos de fontes de energia renováveis frequentemente usadas em sistemas de aquecimento urbano [3] como uma das principais formas de reduzir o uso de combustíveis fósseis, sendo social e culturalmente aceites em grande parte do mundo.

A biomassa, depois de um período de esquecimento, vem ganhando espaço como fonte de energia em muitos países, desenvolvidos ou não [4]. O seu aproveitamento para fins energéticos traz vantagens não apenas na luta contra incêndios e emissões de gases com efeito de estufa (GEE), como também beneficia a economia dos países e das regiões, gerando oportunidades de emprego e negócios em diversos setores, para além de contribuir para uma menor dependência energética [5]. Por ser uma fonte renovável de energia que pode ser usada como substituta dos combustíveis fósseis na produção de calor e eletricidade, é considerada como uma das principais fontes de energia do futuro [6].

O presente estudo teve por objetivo avaliar a possibilidade de converter o sistema atual de aquecimento do Campus de Santa Apolónia (Instituto Politécnico de Bragança, Portugal) num sistema de Aquecimento Urbano com utilização de biomassa florestal na forma de *pellets* como combustível.

## II. METODOLOGIA

### A. Descrição Geral da Metodologia

Para alcançar os objetivos definidos, adotou-se uma metodologia que compreendeu seis etapas, como representado no esquema da Fig. 1.

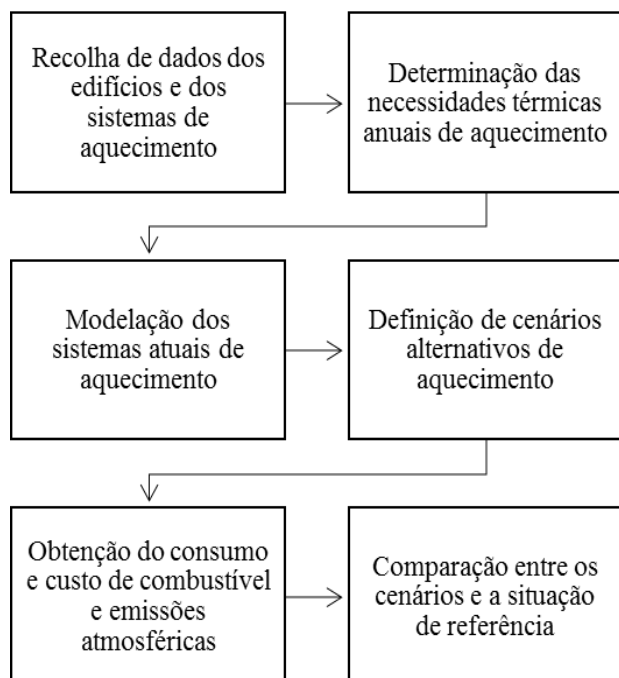


Fig. 1. Passos metodológicos seguidos no estudo.

Fonte: Adaptado de [7].

O procedimento iniciou-se com a recolha de dados das características dos edifícios, assim como dos seus sistemas de aquecimento. Tais dados incluem parâmetros como área, potência térmica das caldeiras e horários de funcionamento, entre outros. Seguidamente, procedeu-se à determinação das necessidades de aquecimento anuais, recorrendo à metodologia graus-dia (MGD) [8]. Este método baseia-se no cálculo do somatório da diferença entre uma temperatura base (no interior) e a temperatura média diária (no exterior), sempre que a temperatura diária for inferior à de base. Apesar da sua simplicidade, este método permite obter resultados aceitáveis.

Posteriormente, foi necessário estimar os valores das cargas médias de aquecimento para cada edifício, com base nas características de isolamento térmico dos edifícios e da temperatura de projeto de sistemas de aquecimento, bem como em resultados obtidos num estudo desenvolvido para um dos edifícios incluídos neste estudo, o da Escola Superior de Educação [9]. O poder calorífico usado para o gás natural foi de 39 MJ/m<sup>3</sup> e para a biomassa de 17 MJ/kg.

Após estes passos, modelou-se o sistema atual de aquecimento de cada edifício, obtendo-se o consumo de combustível, os seus custos e também as emissões de GEE.

Posteriormente, definiram-se dois cenários alternativos de aquecimento e construíram-se os respetivos modelos. Os resultados obtidos para os cenários foram comparados entre si e com os resultados estimados para o sistema atual de aquecimento do Campus.

### B. Caracterização da Situação Existente

O Campus de Santa Apolónia inclui dez edifícios, sendo eles as escolas de Tecnologia e Gestão (ESTiG), Agrária (ESA) e Educação (ESE); os serviços centrais, os serviços de

ação social, o centro académico, a cantina e três residências para estudantes (Fig. 2).



Fig. 2. Mapa do Campus de Santa Apolónia com a localização dos edifícios considerados neste estudo.

Fonte: Adaptado [10].

Este estudo particular, contudo, abrangerá apenas 7 dos 10 edifícios: as três escolas, ESA, ESE e ESTiG, a cantina e as duas residências estudantis no Campus: Verde e Castanha. A residência Gulbenkian, embora no exterior, foi também considerada dada a sua proximidade do Campus.

Atualmente, o Campus conta com sistemas de aquecimento convencionais e independentes. Cada edifício estudado possui uma ou mais caldeiras abastecidas a gás natural e tubulações que levam a água quente até radiadores instalados nas mais diversas tipologias de espaços. Os edifícios apresentam características construtivas e dimensões distintas, apresentando também diferenças em termos de necessidades térmicas, de potências térmicas instaladas, de cargas de aquecimento e horário de funcionamento das caldeiras.

A recolha dos dados necessários foi realizada por meio de consulta de documentos disponibilizados pelo IPB e também junto dos Serviços de Manutenção da mesma instituição. Neste estudo apenas se teve em consideração os consumos de gás para aquecimento para um ano de referência, a fim de realizar comparações com os sistemas alternativos de aquecimento.

Além disto, os dados meteorológicos utilizados são disponibilizados pelo próprio RETScreen, que permite o acesso a uma base de dados da NASA, que por sua vez recebe informação de estações meteorológicas da rede nacional de estações meteorológicas.

As Tabelas I e II apresentam algumas das mais importantes características dos edifícios estudados, que foram utilizadas para as modelações.

TABELA I. Áreas e cargas de aquecimento estimadas para os edifícios estudados

Edifício	Área (m <sup>2</sup> )	Carga de Aquecimento (W.m <sup>2</sup> )
ESA	13.810,00	45
ESE	7.589,00	48
ESTiG	12.239,00	45
Cantina	1.856,31	40
Res. Verde	3.720,05	48
Res. Castanha	1812,41	45
Res. Gulbenkian	683,52	58

TABELA II. Dados de aquecimento dos edifícios estudados

Edifício	Capacidade da Caldeira (kW)	Horário de Funcionamento
ESA	400 + 1000	Seg - Sex: 7h às 19h Sáb: 7h às 16h
ESE	250 + 150	Seg - Sab: 7h às 19h
ESTiG	1100	Seg - Sex: 7h às 21h Sáb: 7h às 16h
Cantina	250	Contínuo
Res. Verde	250 + 250	Contínuo
Res. Castanha	90 + 75	Contínuo
Res. Gulbenkian	90	Contínuo

### C. Descrição dos Sistemas Propostos

De modo a identificar-se o melhor sistema de aquecimento a biomassa florestal, do ponto de vista energético e ambiental, foram definidos dois cenários para serem comparados entre si e com a situação atual de aquecimento no Campus (situação de referência):

**Cenário 1:** Sistema convencional com queima de biomassa. Este cenário é semelhante ao cenário de referência em que em cada edifício é instalado uma caldeira e radiadores nos mais variados espaços físicos. Contudo, as caldeiras dos edifícios são abastecidas com biomassa. Para a modelação deste cenário, a única alteração face à situação de referência foi a substituição do gás natural por biomassa peletizada. A transformação da biomassa em pellets resulta na compactação do material lenhoso, criando um combustível sólido muito mais uniforme, com melhores propriedades energéticas e mais fácil e barato de empacotar, transportar e armazenar.

**Cenário 2:** Aquecimento Urbano com utilização de biomassa. Este cenário inclui apenas uma central de aquecimento, abastecida a biomassa, para suprir as necessidades de aquecimento de todos os edifícios do Campus; A partir desta

central, a água quente é levada aos edifícios por uma malha de tubulações duplas subterrâneas que servem de saída de água quente (75 a 115° C) em direção aos sistemas de distribuição interna, por tubulações secundárias dos edifícios, e regresso da mesma à central de aquecimento, a uma temperatura inferior (35 a 60° C).

A modelação deste cenário teve por base as mesmas características dos edifícios adotadas para o cenário 1, tendo-se, no entanto, adotado uma caldeira com uma potência térmica igual à soma das potências térmicas instaladas em cada edifício (Tabela II). Os comprimentos das tubulações primárias e secundárias de transporte de água foram estimados por meio da plataforma Google Earth [11].

### D. Ferramenta de Análise Energética e Ambiental

A modelação foi realizada com o *software* RETScreen 4 [12], ferramenta que permite avaliar uma série de situações como sistemas de aquecimento, arrefecimento, produção de calor e energia (cogeração), entre outros, obedecendo a parâmetros específicos dos edifícios.

O RETScreen é apresentado com uma interface Excel, sendo dividido em sete folhas de cálculo dinâmicas. A primeira é uma página inicial onde se faz a caracterização inicial do projeto a ser desenvolvido. Depois disso seguem-se as folhas de cálculo relativas ao Modelo Energético, à Análise de Custo, à Análise de Emissões de GEE, à Análise Financeira, à Análise de Risco e, por fim, ferramentas de apoio. Para projetos que envolvem produção de calor ou frio ainda se acrescenta a folha de cálculo referente à Carga e Rede. Esta, juntamente com a do Modelo Energético, são as de maior relevância para o presente trabalho, já que são nelas que se definem as principais características para o aquecimento, como a área dos edifícios e sua necessidade de aquecimento, a potência térmica das caldeiras, o combustível utilizado e também as características das tubulações, no caso do Aquecimento Urbano.

### E. Emissões de GEE

Em adição à análise energética, desenvolveu-se a análise das emissões de GEE para a situação de referência e para cada um dos cenários. Para tanto, o RETScreen baseia-se em fatores de emissão dos combustíveis modelados (Tabela III).

TABELA III. Fator de Emissão de Poluentes

Poluente	Combustível (kg/GJ)	
	Pellets	Gás Natural
CO <sub>2</sub>	0,0000	49,400
CH <sub>4</sub>	0,0299	0,0036
N <sub>2</sub> O	0,0037	0,0009

O fator de emissão referente ao CO<sub>2</sub> para a queima de pellets foi de zero, por se considerar que o CO<sub>2</sub> emitido é extraído da atmosfera durante o processo de fotossíntese [13][14].

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## A. Consumo e Custo dos Combustíveis

Os resultados da modelação dos sistemas realizados em RETScreen, nomeadamente o consumo anual de combustível para cada edifício estudado e também o custo energético para o mesmo período, encontram-se apresentados nas tabelas IV a VI. Os preços do gás natural são os referidos em [15] e o da biomassa estimado com base nos valores do mercado nacional. Na Tabela IV apresentam-se os resultados do modelo relativo à situação atual em termos de consumo e custo anual de gás natural. Na mesma tabela são apresentados também os consumos reais de gás natural que por comparação com os valores estimados serviram para validação do modelo. As seguintes Tabelas V e VI apresentam os resultados de consumo e de custos de biomassa obtidos para os Cenários 1 e 2, respetivamente.

TABELA IV. Consumos e custos anuais da situação de referência e reais de gás natural

Edifício	Consumo Anual		Consumo Real
	Gás Natural (m³)	€/ano	Gás Natural (m³)
ESA	82.782	53.809	81.349
ESE	48.533	31.546	48.188
ESTiG	73.365	47.687	72.282
Cantina	9.891	6.429	7.573
Res. Verde	46.228	30.048	48.600
Res. Castanha	21.115	13.725	21.670
Res. Gulbenkian	10.264	5.521	12.203
<b>Total</b>	292.178	188.765	291.865

TABELA V. Consumos e custos da biomassa referentes ao cenário 1

Edifício	Consumo Anual	
	Biomassa (t)	\$
ESA	190	32.285,00
ESE	111	18.924,00
ESTiG	168	28.612,00
Cantina	23	3.857,00
Res. Verde	106	18.029,00
Res. Castanha	48	8.233,00
Res. Gulbenkian	23	4.000,00
<b>Total</b>	670	113.940,00

TABELA VI. Consumos e custos anuais referentes ao cenário 2

Edifício	Consumo Anual	
	Biomassa	\$
ESA	248	42.206,00
ESE	145	24.740,00
ESTiG	220	37.405,00
Cantina	29	5.042,00
Res. Verde	71	12.127,00
Res. Castanha	32	5.538,00
Res. Gulbenkian	15	2.690,00
<b>Total</b>	760	129.748,00

O consumo de cada edifício, de acordo com o expectável, varia em função da área e do período diário de aquecimento estabelecido para cada um dos edifícios. O maior consumo registado na ESA resulta da sua elevada área. Nas três residências, o consumo por unidade de área sofre um agravamento relativamente aos outros edifícios, pelo facto de serem espaços com períodos diários de aquecimento mais longos

## B. Emissões de GEE

Os valores obtidos para as emissões de GEE estão apresentados na Tabela VII.

TABELA VII. Emissões de GEE para a situação de referência e para os cenários estudados

Edifício	Emissão de GEE (tCO2)		
	Situação de Referência	Cenários	
		1	2
ESA	160,6	6	22,8
ESE	94,2	3,5	
ESTiG	142,3	5,3	
Cantina	19,2	0,7	
Res. Verde	89,7	3,3	
Res. Castanha	41,0	1,5	
Res. Gulbenkian	19,9	0,7	
<b>Total</b>	563,5	20,9	22,7

Relativamente às emissões de GEE, os cenários, que envolvem a utilização de biomassa apresentam emissões substancialmente mais baixas do que as da situação de referência.

## C. Discussão

Os resultados indicam que há diferenças consideráveis entre os sistemas testados. Os Cenários 1 e 2 constituem melhores alternativas em termos económicos e ambientais, por



terem menores custos com aquisição de combustível, reduzidas emissões de gases de efeito de estufa e maior contribuição para a redução do uso de combustíveis fósseis.

Resultados semelhantes foram encontrados por [16], que por meio de estudos comparativos entre diferentes combustíveis, obteve vantagens financeiras com o uso de *pellets* em relação ao gás natural.

O Cenário 2 não se apresentou o mais favorável em relação a custos e emissões de GEE, mas por outro lado, o Aquecimento Urbano apresenta outras vantagens. A centralização das unidades de aquecimento tem a vantagem de instalar grandes instalações que são mais suscetíveis a incorporação de tecnologias sofisticadas de controlo da poluição e de boas práticas de operação e manutenção dos equipamentos [17]. Além disso, os utilizadores podem beneficiar de maior confiabilidade, maior conforto, menor investimento, economia de custos operacionais, maior eficiência energética e maior flexibilidade no uso de combustíveis. Soma-se ainda que ocupam menores espaços de construção e controlo padronizado das condições térmicas dos edifícios [2] e permitem maior eficiência no controlo de partículas emitidas com a queima da biomassa.

Em adição à estas vantagens, sistemas de Aquecimento Urbano possibilitam a implantação de sistemas de cogeração - produção simultânea de eletricidade e calor - que aumentam substancialmente a eficiência destas centrais, pois aproveitam calor que seria perdido na produção de eletricidade.

## IV. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o uso de biomassa florestal na forma peletizada apresenta vantagens ambientais e financeiras relativamente ao gás natural tornando-a uma opção promissora no uso como combustível para aquecimento de ar ambiente.

O Aquecimento Urbano não apresentou vantagens de custos nem ambientais quando comparado com o aquecimento convencional a biomassa, isso por apresentar perdas térmicas na distribuição de água quente, uma vez que o Campus do IPB tem uma grande extensão de área e os edifícios situam-se longe uns dos outros. Contudo, se comparado ao sistema atual, aponta-se como muito vantajoso para o ambiente e em termos de os gastos com aquisição de combustível. Ambientalmente, o uso de biomassa acarreta numa diminuição considerável no uso de combustíveis fósseis, além de contribuir pouco para emissão de gases que agravam o efeito estufa.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Engenheiro João Barros pela disponibilização de informação relevante para o desenvolvimento deste estudo.

## REFERÊNCIAS

[1] Danfoss. (2010). The Heating Book - 8 Steps to Control of Heating Systems. Control, 113-138. Retrieved from [http://heating.danfoss.com/pcmfiles/1/master/he/library/heating\\_bo](http://heating.danfoss.com/pcmfiles/1/master/he/library/heating_bo)

ok.asp?menuid=4b642b70-fcb2-46b4-a1ac-bd0ac806f40e&menuid=54#

[2] Skagestad, B., & Mildenstein, P. (2002). District Heating and Cooling Connection Handbook. Canada: International Energy Agency. Retrieved from [http://dedc.dk/sites/default/files/programme\\_of\\_research\\_development\\_and\\_demonstration\\_on\\_district\\_heating\\_and\\_cooling.pdf](http://dedc.dk/sites/default/files/programme_of_research_development_and_demonstration_on_district_heating_and_cooling.pdf)

[3] Ericsson, K., & Werner, S. (2016). The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. Biomass and Bioenergy, 94, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.011>

[4] Cortez, L. A. B., Lora, E. E. S., & Gómez, E. O. (2008). Biomassa para energia. Campinas: UNICAMP. Retrieved from <http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf>

[5] Teixeira, L. M. de A. (2009). Opções de utilização da biomassa florestal no contexto energético de Portugal. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto.

[6] Novakovic, V. (2014). Biomass combined heat and power (CHP) for electricity and district heating. Norwegian University of Science and Technology.

[7] Vallios, I., Tsoutsos, T., & Papadakis, G. (2009). Design of biomass district heating systems. Biomass and Bioenergy, 33(4), 659-678. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.10.009>

[8] Goulart, S. V. G. (1993). Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis. Universidade Federal de Santa Catarina. Retrieved from [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO\\_Solange\\_Goulart.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Solange_Goulart.pdf)

[9] Cota, S. M. A. (2014). Análise Energética de um Edifício Público. Instituto Politécnico de Bragança.

[10] Instituto Politécnico de Bragança. (2017). IPB - Campus Bragança. Retrieved May 18, 2017, from <http://portal3.ipb.pt/index.php/pt/ipb/quem-somos/contactos-e-localizacao/campus-braganca>

[11] Google. (2017). Google Earth. Retrieved May 24, 2017, from <https://earth.google.com/web/>

[12] RETScreen. (2017). RETScreen | Natural Resources Canada. Retrieved May 22, 2017, from <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>

[13] Soares, T. S., Carneiro, A. de C. O., Gonçalves, E. de O., & Lelles, J. G. de. (2006, August). Uso da Biomassa Florestal na Geração de Energia, 9. Retrieved from [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/floresta1\\_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/floresta1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf)

[14] Nunes, L. J. R. (2015). A Utilização de Biomassa como Alternativa Energética para a Sustentabilidade e Competitividade da Indústria Portuguesa. Universidade da Beira Interior.

[15] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE). (2017). Tarifas e preços de gás natural para o ano 2016-2017 e parâmetros para o período de regulação 2016-2019, 1-289.

[16] Sá, A. J. da F. e. (2009). Caracterização da Recolha de Matéria-Prima para a Produção de Pellets. Universidade de Aveiro. Retrieved from <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/2485/1/2009001080.pdf>

[17] Sipilä, K., Ranne, A., & Koljonen, T. (2000). Modular district heating system Modis. (L. Ukskoski, Ed.), Espoo 2000. Finland: Technical Research Centre of Finland.



# Using zooplankton community as indicator of seasonal changes in some water quality parameters in a meso-eutrophic reservoir

Ana Maria Gerales

CIMO, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de  
Bragança Campus de Santa Apolónia  
5300-253 Bragança, Portugal  
geraldes@ipb.pt

Pedro Silva-Santos

NOCTULA - Consultores em Ambiente, Quinta da Alagoa  
Lote 222 1º Frente,  
3500-606 Viseu, Portugal  
pedross@noctula.pt

Maria Cristina Crispim

Universidade Federal da Paraíba  
João Pessoa, Brasil  
ccrispim@hotmail.com

**Abstract**—This research was aimed to monitor and characterize the zooplankton community of Aguieira reservoir (40.33 N; 8.19 W). Aguieira trophic state, nutrient concentration (the highest amounts were observed in summer) and water quality, can be correlated to the internal disturbances induced by the intense water level fluctuations. These criteria indeed lead to an increase in the suspended particulate material in the water column. In addition, the input of allochthonous nutrients originated from human activities in the catchment area will increase the phytoplankton biomass (mainly Cyanobacteria) during summer. The phytoplankton community was dominated by the Cyanobacteria, whereas the zooplankton community by the rotifer, *Keratella cochlearis* and by the caldoceran, *Chydorus sphaericus*. In the absence of Cyanobacteria, the subsistence of *Copidodiaptomus numidicus*, *Daphnia longispina* and *Bosmina coregoni* was highly evident. Zooplankton community showed similar spatial and inter-annual patterns. However, n-MDS ordination was able to differentiate between the two identified groups: samples obtained from December-March and from May-September. Canonical correspondence analysis (CCA) identified two main environmental gradients that shape zooplankton community. One being temporal, mainly related to temperature. The other is a trophic gradient which is associated to chlorophyll a concentration, water transparency, nitrates and nitrites. Variance partitioning using CCA revealed that the largest portion (45%) of the total variation observed (70%), was attributed to the interaction between lake and environmental variables.

**Keywords**— zooplankton community; water quality parameters reservoir.

## I. INTRODUCTION

Freshwater resources are scarce in Portugal. Therefore, reservoirs can provide large amount of water for agriculture and urban supply, energy generation, fishing and recreational purposes. Hence these freshwater systems are mainly influenced by watershed geology, climate, soil, land slope and

intrinsic factors such as age of the reservoirs, water level fluctuations, morphometry and water residence times [1,2]. Anthropogenic activities in the catchment area and in the reservoir vicinity cause intensification of surface runoff with an increase in eutrophication, thus threatening water quality. Runoff rates depend mainly on land use, vegetation cover and landscape mosaic [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Zooplankton constitutes a crucial link in the energy transfer to higher trophic levels being a keystone on ecosystem functioning. Moreover, its size structure, reproduction and survival, among other characteristics, are affected by both top-down (fish or invertebrates) and bottom-up (nutrient level and phytoplankton) controls. Thus, the observed community structure reflects the fluctuation of environmental factors, disturbance events and ecosystem resilience. Besides, zooplankton shows quick responses to environmental changes [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Aguieira Reservoir (Latitude: 40°19'53, 83"N; Longitude: 8° 11'47, 76"W) is located in the Iberian Peninsula, in Portugal on the Mondego River catchment. The reservoir is used to generate hydroelectrical power and to provide urban water supply. Due to this, accentuated water level fluctuations occur. The catchment is occupied with intensive forestry, agriculture and livestock production and with several medium sized towns. Therefore, the aim of the present research was: (1) to characterise zooplankton community and (2) to assess how zooplankton community respond to the variations of several environmental parameters.

## II. MATERIAL AND METHODS

### A. Field sampling and laboratory analysis

Samples were collected seasonally from March 2010 to December 2011 at three sampling points: P1, P2 and P3. Euphotic zone data was obtained. The depth of this zone was considered to be 2.5 times the Secchi disk depth. Integrated water samples were obtained at 2 m intervals along the euphotic zone with a Van Dorn bottle. Samples were pooled

together and the total sample was used for chlorophyll *a*, (CHL *a*) nitrites, nitrates, ammonia and phosphorus determination. These variables were estimated according to [15]. Water temperature, pH, conductivity and dissolved oxygen (DO) were determined “in situ” using a multiparameter probe (YSI 6820). Zooplankton were collected on each sampling date by taking two vertical hauls using a 64 µm mesh size Wisconsin type net equipped with a flowmeter. Animals were anaesthetised with carbonated water and preserved in sugar-saturated formaldehyde (4% final concentration). Depending on density, zooplankton in 5, 10, 20 ml sub-samples or in total sample were counted and identified to the species level. Carlson’s Trophic State Index (TSI) [16] was computed from Secchi disk transparency (TSI (SD)), and CHL *a* concentrations (TSI (CHL)).

### B. Data analysis

Non-metric Multidimensional Scaling (n-MDS) was used to determine if environmental variables and zooplankton community had changed with sampling sites over seasons and years. Bray-Curtis distance was used to measure the dissimilarity between samples. In this method samples were arranged in a continuum that those close together are similar and those which are far apart are dissimilar. Statistical differences between clusters identified in n-MDS plot were investigated by a randomization method, ANOSIM [17]. This method employs R statistics to examine the existence of differences between the established groups for each considered factor (groups and differences between sampling sites, seasons and years). To determine the influence of the studied environmental variables on the zooplankton species composition, a Canonical Correspondence Analysis (CCA) was performed. In both analyses, taxa were included only if they reached a relative abundance larger than 1%. Absolute zooplankton counts were transformed to log (x+1) and rare species were down weighted. In CCA the automatic forward selection procedure by Monte Carlo permutation tests (9999 permutations) was used to remove the redundant environmental variables, allowing the selection of those contributing to the explanation of the whole data set [18].

## III. RESULTS

### A. Environmental variables

Environmental variables showed similar values during both years in each sampling site (Table 1). Spatial and inter-annual variations in these parameters were not relevant. However, seasonal variations were observed. n-MDS ordination (Figure 1) was able to differentiate between the two identified groups: samples obtained in December, January and March from those obtained in May and September (2D stress: 0.02). ANOSIM test confirmed significant differences between the two groups ( $R = 0.829$ ;  $p < 0.001$ ). The environmental variables that showed clear seasonal variations and contributed for these differentiations were temperature, Secchi disk depth, CHL *a* concentrations and pH. The highest values for temperature, pH, CHL *a* concentrations were observed in the samples obtained in May and September. Conversely, the lowest values of Secchi disk depth were

observed in January and March. According to Carlson’s Trophic State Index (the two components together- TSI (SD) and TSI (CHL *a*), this reservoir was classified as mesotrophic in winter (the values ranged between 24 and 42). In summer it was eutrophic (values of both components of the index reached 57).

TABLE I. MINIMUM-MAXIMUM RANGE OF ENVIRONMENTAL VARIABLES OBTAINED FOR 2010 AND 2011 IN THE DIFFERENT SAMPLING SITES.

Parameter	2010			2011		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
	11.9-	12.2-	12.8-	14.7-		
Temperature (° C)	23.0	23.2	22.8	25.0	14.2	13.4
pH	7,3-9,9	7,2-10,1	7,3-10,0	7,1-9,8	7.21	7.3
Conductivity (µS cm <sup>-1</sup> )	70,4-	76,2-	68,8-	64,8-	63,4-	
	104,5	100,1	94,6	104,5	102,1	94.6
Secchi disk(m)	1,5-3,0	1,5-3,0	1,5-3,0	1,2-4,0	2.5	2.5
	<0,01-	<0,01-	<0,01-	<0,01-		
NO <sub>2</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,08	0,11	0,06	0,03	0.04	0.03
NO <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<4,4-5,4	<4,4-5,5	<4,4-5,5	<4,4	5,5	4,9
NH <sub>4</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	<0,23	<0,23	<0,23	<0,23	<0,23	<0,23
Chlorophyll <i>a</i> (µg L <sup>-1</sup> )	0,36-	0,36-	1,40-	0,52-	0,89-	0,53-
	16,21	14,20	15,68	14,43	10,69	5,88

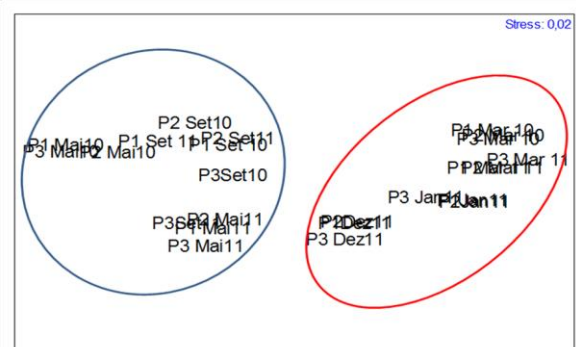


Fig.1. Results of n-MDS ordination considering environmental variables.

Sampling sites: P1, P2, P3.

Jan, Dez, Mar, Mai, Set: Samples obtained in January, December, March, May and September, respectively

### B. Zooplankton community

During the sampling period 12 taxa of Rotifera, 7 of Cladocera and 3 of Copepoda were recorded. Zooplankton community

showed similar spatial and inter-annual patterns. From all the zooplanktonic species found in Aguieira the most abundant in both the years were the rotifers, *Keratella cochlearis* (both in May 2010/2011) and *Polyarthra sp.* (mainly in 2010); the Cladocera, *Bosmina coregoni* and *Chydorus sphaericus* (in September) and the Copepoda, *T. prasinus* and *Copidodiaptomus numidicus* (mainly in December and January). *Daphnia* and other coarse mesh filter-feeder zooplankters always showed low abundance.

n-MDS ordination (Figure 2) was able to differentiate between the identified samples obtained in December-March and those obtained in May- September (2D stress: 0.12). ANOSIM test confirmed the significant differences between the two groups ( $R=0.803$ ;  $p<0.001$ ). These differences can be explained by the increase of *Daphnia longispina*, *C. numidicus* and *Bosmina coregoni* during December- March period. These species prefer lowest temperatures and lowest densities of

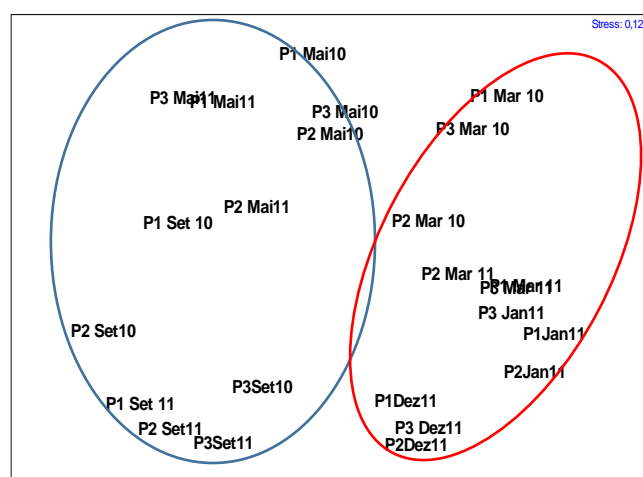
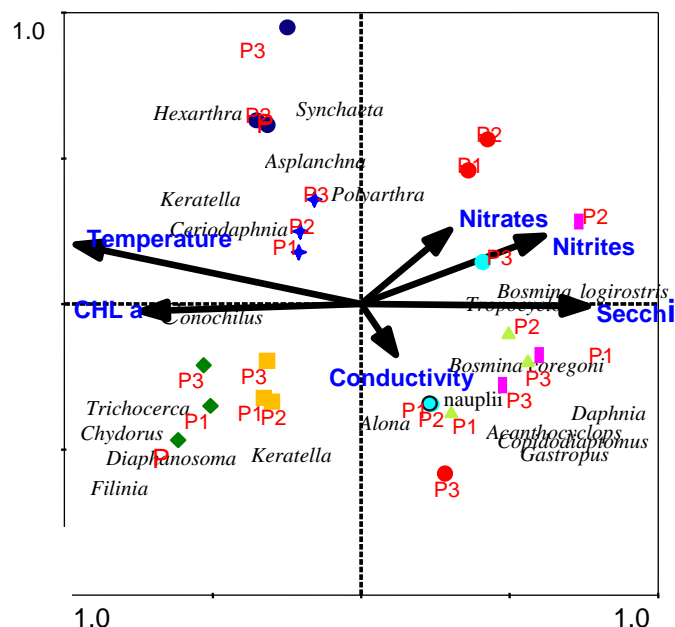


Fig. 2. Results of n-MDS ordination considering zooplankton. P1, P2, P3 - sampling sites. Jan, Dez; Mar, Mai Set-Samples obtained in January, December, March, May and September, respectively.

CCA revealed two gradients that influenced zooplankton community (see Figure 3). First is the temporal gradient related to temperature ( $P=0.0000$ ) and the other is the trophic gradient associated to algal biomass CHL *a* ( $P=0.004$ ), Secchi disk depth ( $P=0.04$ ), conductivity ( $P=0.009$ ), nitrates ( $P=0.014$ ) and nitrites ( $P=0.029$ ). The ordination space defined by the first two CCA axes accounted for 70% of species-environment relation and represented 45% of the variation in species data.



ts of CCA.  
h samples: March 2010 – red circles; May 2010 – blue stars; 2010 – yellow squares; January 2011 – pink rectangles; – green triangles; May 2011 – dark blue circles; September 2011- nds and December 2011- light blue circles.

#### IV. DISCUSSION

est values for pH, CHL *a* concentrations were both in May and September and were related to the blooms of *Raphidopsis mediterranea*, *Anabaena* and *Gophosphaeria lacustris*, which were recorded for the first time in this reservoir by [19]. The increase in pH during this period is a consequence of high consumption of  $CO_2$  by these microorganisms leading to the alkalization of the euphotic zone. The conditions created by late spring- summer temperatures and irradiance combined with high levels of nutrients provided the ecological optimum for cyanobacteria dominance [20, 21]. The trophic state of this reservoir, varying between meso-eutrophic and eutrophic state, might be a consequence of the disturbance caused by extreme and aperiodic water level fluctuations (because of hydroelectricity production). The exposure of littoral sediments to cycles of drying and wetting might have implications on nutrient cycling. This assumption is supported by the results obtained from [22] and [23] in reservoirs where water level fluctuations were accentuated and refilled over a short period of time. According to these authors, littoral sediments that were periodically exposed, experiencing cycles of drying and wetting, have less capacity to adsorb nutrients than those that remain inundated.

Zooplankton composition and abundance was similar in all sampling sites. Slight differences such as the higher abundance of the copepod, *T. prasinus* in P1 in March 2010,

can be explained by spatial variations on fish predation pressure [24]. The obtained results evidenced that zooplankton communities can be regarded as “reservoir mirrors”. In fact, when cyanobacteria blooms occurred, Rotifera (*Keratella* sp. and *Polyarthra* sp.) were dominant. In this period, Caldocera (*Chydorus sphaericus* and *Ceriodaphnia*) and Copepoda were also present, but in much smaller densities. Therefore, specialists on small particle feeding, for those the food preferences are mostly detritus-bacteria, are favoured in these environmental conditions. Whereas cyanobacteria are known to negatively affect mesh filter-feeders (large herbivores) such as *Daphnia*, either by being of low nutritional value, by clogging the feeding apparatus or by producing toxins [25, 9, 26, 27]. Besides, large herbivores have larger generations, lower tolerance to turbidity and higher temperatures [28, 29, 30]. Therefore, *Daphnia longispina*, *C. numidicus* and *Bosmina coregoni* were abundant in December, January and March.

## V. CONCLUSION

The results of the present study conclude that the water temperature, pH, CHL *a*, and Secchi disk depth explained to an extent of the variability, abundance and composition of zooplankton community. But the other factors such as the anthropogenic disturbance degree reflected in the water level fluctuations, climate change, biotic interactions also seemed to play an important role in structuring the zooplankton community. It is important that the further limnological studies may actually contribute to fully assess the relative importance of all these different variables. The obtained data constitute a preliminary study and might be a basis to develop management plans to mitigate some negative impacts resulting from anthropogenic activities in this reservoir. Furthermore, data obtained in this study will allow monitoring the efficiency of those plans by detecting changes in this community, which can be related to changes in water quality and in the overall ecosystem health.

## Acknowledgment

This study was supported by Grupo Visabeira.

## References

- [1] D. Harper, Eutrophication of freshwaters - principles, problems and restoration 1<sup>st</sup> ed. London: Chapman & Hall, 1992.
- [2] R.G. Wetzel. Limnology - Lake and River Ecosystems, 3<sup>rd</sup> ed. New York: Academic Press, 2001.
- [3] P. Johnes, B. Moss and G. Phillips, “ The determination of total nitrogen and total phosphorus concentrations in freshwater from land use, stock headage and population data: Testing of a model for use in conservation and water quality management”, Freshwater Biology. Vol. 36, pp. 451-73 1996.
- [4] J. Rybak, “Long-term and seasonal dynamics of nutrient export rates from lake watersheds of diversified land cover pattern” Verh. Internat. Verein Limnol, vol 27 pp. 3132-136 2000.
- [5] R. Hallisey, ML McGarrigle and K. Donnelly, “The relationship between in-stream total phosphorus and the characteristics of the surrounding catchment, Rappa River catchment, Co. Mayo, Ireland” Verh. Internat. Verein. Limnol, vol 27 pp 3556-3560 2002.
- [6] H. Szyper and R Goldyn, “Role of catchment area in the transport of nutrients to lakes in the Wielkopolska National Park in Poland” Lakes and Reservoirs: Research and Management, vol 7, pp 25-33 2002.
- [7] C. Leigh, A. Watkinson, M.A. Burford and U.M. Irstea “Effects of extreme inflows on the water quality and phytoplankton of seven reservoirs in subtropical Australia”. Inland Waters vol 5(3), pp 240-252 2015.
- [8] R. Gough, Y. Cohen, N. Fenner J. Cannon and C. Freeman, “Relationships between reservoir water quality and catchment habitat type.” International Journal of Environmental Technology and Management, vol. 19(1), pp. 16-39 2016.
- [9] W. Lampert and U Sommer, Limnecology - the ecology of lakes and streams. New York: Oxford University Press 1997.
- [10] E. Jeppesen, J.P. Jensen, M. Sondergaard and T. Lauridsen, “Trophic dynamics in turbid and clear water lakes with special emphasis on the role of zooplankton for water clarity”, Hydrobiologia, vol 408, pp 217-231 1999.
- [11] R. Pereira, AMVMR Soares, F. Ribeiro, and F. Gonçalves, “Assessing the trophic state of Linhos lake: a first step towards ecological rehabilitation” Journal of Environmental Management, vol 64, pp 285–297 2000.
- [12] N. Abrantes, A. Nogueira and F. Gonçalves, “ Short-term dynamics of cladocerans in a eutrophic shallow lake during a shift in the phytoplankton dominance”, Annales de Limnologie - International Journal of Limnology, vol 45, pp 237-245 2009.
- [13] U. Obertegger, A. Borsato and G. Flaim, “Rotifer-crustacean interactions in a pseudokarstic lake: influence of hydrology” Aquatic Ecology, vol 44, pp 121-130 2010.
- [14] J Haberman and M. Haldna, “Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Võrtsjärv” J. Limnol, vol 73(2), pp 263-273 2014.
- [15] APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17<sup>th</sup> ed. Washington: American Public Health Association; 1989.
- [16] R.E. Carlson, “A trophic state index for lakes.” Limnol. Oceanogr, vol 22, pp 361-369 1977.
- [17] K. R. Clarke and R.M. Warwick Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environmental Research Council, UK 1994.
- [18] C.J.F. Ter Braak. Ordination. in “Data Analysis in Community and Landscape Ecology,” R.H.G Jongman, C.J.F. Ter Braak and O.F.R van Tongeren Eds. Cambridge :University press; 1995.
- [19] M.R.L. Oliveira and M.T. Monteiro “Blooms” de Cyanophyceae na Albufeira da Aguieira: Efeitos na qualidade da água e no zooplâncton. Relat. Téc. Cient. INIP, vol 61 1992.
- [20] R. Barone, G. Castelli and L. Naselli-Flores, “Red sky at night cyanobacteria delight: the role of climate in structuring phytoplankton assemblage in a shallow Mediterranean lake (Biviere di Gela, southeastern Sicily)”, Hydrobiologia, vol 639, pp 43– 53 2010.
- [21] V. Huber, C. Wagner, D. Gerten and R. Adrian “ To bloom or not to bloom: contrasting responses of cyanobacteria to recent heat waves explained by critical thresholds of abiotic drivers,” Oecologia vol 169(1), pp 245-256 2009.
- [22] A. Fabre, “Experimental studies on some factors influencing phosphorus solubilisation in connection with the drawdown of a reservoir”. Hydrobiologia vol 159, pp 153-158 1988.
- [23] C.J. Watts, “Seasonal phosphorus release from exposed, re-inundated littoral sediments of two Australian reservoirs”. Hydrobiologia, vol 431, pp 27-39 2000.

- [24] I.J. Winfield and C.R. Townsend, "The role of cyprinids in ecosystems", In: Cyprinid fishes, systematics, biology and exploitation, IJ Winfield Eds., London: Chapman e Hall 1992.
- [25] W. Geller and H. Müller, "The Filtration Apparatus of Cladocera: Filter Mesh-Sizes and their Implications on Food Selectivity" *Oecologia*, vol 49, pp. 316 -321 1981.
- [26] M. Łotocka, "Toxic effect of cyanobacterial blooms on the grazing activity of *Daphnia magna* Straus", *Oceanologia*, vol 43, pp 441-53 2001.
- [27] O. Sarnelle, S. Gustafsson Sand L.A. , Hansson, "Effects of cyanobacteria on fitness components of the herbivore *Daphnia*,". *Journal of Plankton Research*, vol 32(4), pp 471-77 2010.
- [28] M. J. Caramujo and M. J. Boavida, "The crustacean communities of River Tagus reservoirs. Zooplankton structure as reservoir trophic state indicator", *Limnética* vol 18, pp 37-56 2000.
- [29] A. M. Gerales and M. J. Boavida, "What factors affect the pelagic cladocerans of the meso-eutrophic Azibo reservoir?", *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, vol 40 pp 101-111 2004.
- [30] B.B. Castro, S.C. Antunes, R. Pereira, A.M.V.M. Soares and F Gonçalves, "Rotifer community structure in three shallow lakes: seasonal fluctuations and explanatory factors", *Hydrobiologia*, vol 543, pp 221–232 2005.





# Cassava-processing wastewaters: bioremediation potential of immobilized *Chlorella vulgaris* (Chlorophyceae)

V. Medeiros<sup>1</sup>, C. C. A. Loures<sup>2</sup>, R. A. M. Boloy<sup>3</sup> and C. Fernandes<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Mountain Research Centre (CIMO).  
ESA-Polytechnic Institute of Bragança,  
Bragança, Portugal.

<sup>2</sup> Mechanical Engineering Department.  
Technological and Education Federal Center, Rio de  
Janeiro.  
Rio de Janeiro, Brazil.

<sup>3</sup>Group of Entrepreneurship, Energy, Environment and  
Technology (GEEMAT), Mechanical Engineering  
Department.

Technological and Education Federal Center, Rio de  
Janeiro.  
Rio de Janeiro, Brazil.

\* e-mail: [conceicao.fernandes@ipb.pt](mailto:conceicao.fernandes@ipb.pt)

**Abstract**— Most cassava processing industry generates a large volume of wastewater effluent with high contaminating load of COD and BOD and cyanide concentration, posing to a serious threat to the environment. A variety of processes has been tested to treat this wastewater effluent, where the effectiveness in reducing the toxicity varies greatly. Microalgae are photosynthetic microorganisms that can rapidly generate biomass from solar energy, CO<sub>2</sub> and nutrients in water, namely those present in wastewater effluents. Also, algal biomass and algae-derived compounds are potentially useful in industrial applications, as well as for biodiesel production. Taking this into account, the aim of this work was evaluated the ability of *Chlorella vulgaris* to growth on cassava-processing effluent and assess the bioremediation potential by evaluating toxicity of effluent.

Batch cultures, with *C. vulgaris* in suspended and in immobilized-cell systems, under different dilutions (20-50%) of cassava effluent were tested. The effectiveness of the process has been assessed by phytotoxicity, in germination trials of *Lactuca sativa*. Best results were obtained with *C. vulgaris* in immobilized-systems and carried out with higher initial cell concentrations. Regarding the phytotoxicity, after biotreatment we can conclude that microalgae can reduce the toxicity of cassava effluent, leading to Germination Increase index (GI) range of 88-100%.

**Keywords**— cassava wastewaters; bioremediation; *Chlorella vulgaris*; phytotoxicity; *Lactuca sativa*.

## I. Introduction

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is one of the most important food, being produced by more than 80 countries [1]. Most cassava processing industry generates a large volume of

wastewater effluent with high contaminating load of COD and BOD and cyanide concentration, posing to a serious threat to the environment. Because disposal of effluents from cassava processing is becoming an increasing problem, several treatments were carried out [2-6]. Nevertheless, the cost of implementing the technology is, in many cases, prohibitive [6], or are not very viable for the treatment.

Microalgae are photosynthetic microorganisms that can rapidly generate biomass from solar energy, CO<sub>2</sub> and nutrients in bodies of water. Algal biomass and algae-derived compounds are potentially useful in industrial applications, as well as for biodiesel production [7-11]. Other applications from microalgae are due to their ability to wastewater treatments [12-17].

Therefore, the aim of this work was evaluated the ability of *Chlorella vulgaris*, a single-cell Chlorophyceae, to growth in cassava-processing effluent and assess the bioremediation potential by evaluating the toxicity of treated effluent.

## II. Material and Methods

**Effluent sampling:** Samples of cassava effluent were collected in Norwest of Brazil using a 5L plastic bottle in December of 2016. At laboratory arrive the cassava effluent was filtrated, for removal of suspended solids and frozen until use for batch cultures.

**Microalgae cultures:** *C. vulgaris* (CBSC 15-2075), was obtained from the Carolina Biological Supply Company (USA) and was pre-cultured in 250 mL flasks with sterilized Bold's Basal medium (BB) in a controlled chamber, under the following conditions: temperature of 22 ± 0.5 °C, light

intensity of 4500 lux (Gro-Lux fluorescent lamps), 16:8 h light:dark photoperiod, with continuous aeration, until reach exponential growth phase and to be able to be used for essays.

**Effluent biotreatment:** The assays were carried out in batch cultures, with *C. vulgaris* in suspended and in immobilized-cell systems, under different dilutions of cassava effluent. This later consists of effluent dissolved on BB medium in concentrations range between 20% to 50% and sterilized by autoclaving (121°C, 0.1 Mpa, 20 min). The microalgal immobilization was made in sodium alginate solution at 1.5% and previously washed in distilled water before inoculation.

Batch experiments were developed in 100 mL flasks under no axenic conditions, for 4 days in the following conditions: (i) two distinct initial cell concentrations, approximately  $7 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup> and  $12 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup>; (ii) a constant ratio of total culture volume to beads volume of 5 (v/v) for suspended system; (iii) initial pH of  $4.45 \pm 0.17$ ; (iv) room temperature (approximately  $25.0 \pm 1.0$  °C); (v) light intensity of 5000 lux and 16:8h light:dark photoperiod and (vi) continuous aeration with the injection of atmospheric air at the bottom of the flasks. For each condition, two independent experiments were performed.

**Toxicity evaluation:** The evaluation of the cassava effluent toxicity, after biotreatment, was made by germination tests. These tests were performed with lettuce (*Lactuca sativa*) seeds, incubated in a growing chamber, in the dark, at  $26^\circ\text{C} \pm 0.1$ , for 3 days. Six lettuce seeds were disposed on each Petri dishes (diameter of 55 mm), lined with filter paper and watered with 2 mL of sample collected after final biotreatment. For each dilution of cassava effluent, the positive control was distilled water and the negative control was water:BB medium at same dilution than effluent. The effect of biotreatment was made by comparisons of biotoxicity of cassava effluent with and without biotreatment. All the essays were done in triplicates. Results were expressed as a number of Germinated seeds (G) and Germination Increase index (GI) according to the formula:

$$\text{GI (\%)} = (\text{G}_{\text{test}} - \text{G}_{\text{contW}}) \div \text{G}_{\text{test}} \times 100$$

( $\text{G}_{\text{test}}$  = n° of seeds germinated after biotreatment;  $\text{G}_{\text{contW}}$  = n° of seeds germinated without biotreatment).

**Statistical analysis:** Results were expressed as mean values  $\pm$  standard error.

### III. Results and Discussion

To evaluate the growth ability of *C. vulgaris* under the presence of cassava effluent, several effluent dilutions were prepared with BB medium and inoculated with suspended cells or with immobilized cells. Best results were obtained with *C. vulgaris* in immobilized-systems. In fact, results showed that, in generally, *C. vulgaris* in suspended-cell systems can not growth in the tested dilutions of the effluent. Reports have shown that cassava effluent contains harmful cyanides, copper, mercury and nickel which have the capacity to affect native micro-biota [18], and therefore certainly also affects the microalgae, inhibiting their grow. On the other

hand, *C. vulgaris* in immobilized-systems apparently could grow in all tested dilutions of the effluent. The time-course evolution of pH of these cultures, also suggests that the pH increase observed, from 4.45 to 8.00, could be related to cyanide remove, since their presence produces an acidic effect. In cell entrapment, microalgal cells are confined to the polymeric matrix and substrates and products diffuse to and from the cells through the pores present in the matrix. This system had some advantages, since immobilization matrix confers cells higher resistance to harsh environments [7,13,19], such as with the cassava effluent.

**Table 1-** Germinated seeds (G) and number of days obtained for controls and for the cassava effluent dilutions, with and without biotreatment (higher inoculum).

		Without Biotreatment		With Biotreatment		
		Days	G (%)	Days	G (%)	GI (%)
Control <sup>+</sup>		2	94±9.62	2	100	
Control <sup>-</sup>		2	100	2	94±9.62	
Effluent dilutions	20%	2	11±9.62	2	94±9.62	88±10.72
	40%	2	5.56±9.62	3	78±9.62	93±11.55
	50%	3	0	3	56±19.25	100

The bioremediation potential of *C. vulgaris* in immobilized-systems was evaluated by germination tests and results showed that the toxicity of the effluent after treatment was diminished considerably. Also, results showed that batch cultures carried out with higher initial cell concentrations in alginate beads ( $12 \times 10^6$  cells mL<sup>-1</sup>) showed best results, comparing with lower initial cell concentrations (table 1). As expected, biotreatment carried out in cassava effluent leads to an increase in the number of germinated seeds, comparing with cassava effluent without treatment. This result was expressed as Germination Increase index (GI), which reached 100% for the treatments of cassava effluent diluted at 50%. In general, the increase of effluent concentration affects the seeds germination, inhibiting the number of germinated seeds (G), namely, cassava effluent diluted at 50% fully inhibits seeds germination. The negative control was prepared to access the effect of BB medium on seeds germination and since there are no differences between dilutions, the results presented here concerning the water:BB medium at 50 % dilution. These results confirmed that *C. vulgaris* can reduce phytotoxic compounds present in cassava effluent that inhibits germination of *L. sativa*, thus showing a good biotreatment potential.

### IV. Conclusions

In generally, results from this work showed that immobilized *C. vulgaris* could be an alternative to bioremediation of cassava effluent, but more detailed studies are still needed to

optimize the process. Biotreatments of wastes using living organisms is an environmentally friendly, relatively simple and cost-effective alternative to physico-chemical processes. Furthermore, the biotechnology of growing microalgae in wastewater is getting importance as biomass production for many other valuable applications.

#### REFERENCES

- [1] FAO, "The Global Cassava Development Strategy and Implementation Plan", FAO/IFAD, 2001.
- [2] A. O. Ubalua, "Cassava wastes: treatment options and value addition alternatives", African Journal of Biotechnology vol. 6 (18), pp. 2065-2073, 2007.
- [3] F. M. Ferraz., A. T. Bruni and V. L. Del Bianchi, "Performance of an Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in treatment of cassava wastewater", Braz. J. Microbiol. 40 (1), pp. 48-53, 2009.
- [4] A. C. Barana and M. P. Cereda, "Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigester", Food Science and Technology (Campinas), vol. 20 (2), pp. 183-186, 2000.
- [5] M. M. F. Ribas, M. P. Cereda, and R. L. Villas Bôas, "Use of cassava wastewater treated anaerobically with alkaline agents as fertilizer for maize (*Zea mays* L.)", Brazilian Archives of Biology and Technology, vol. 53(1), pp. 55-62, 2010.
- [6] E. I. Ugwu and J. C. Agunwamba, "Detoxification of cassava wastewater by alkali Degradation", Journal of Research in Environmental Science and Toxicology, vol. 1(7) pp. 161-167, 2012.
- [7] N. Mallick, "Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review", Biometals, vol. 15, pp. 377-390, 2002.
- [8] M. Olaizola, "Commercial Development of Microalgal Biotechnology: From the Test Tube to the Marketplace", Biomolecular Engineering, vol. 20, pp. 459-466, 2003.
- [9] P. Spolaore, C. Joannis-Cassan, E. Duran and A. Isambert, "Commercial applications of microalgae", Journal of Bioscience and Bioengineering, vol. 101, pp. 87-96, 2006.
- [10] S.S.M. Mostafa, "Microalgal biotechnology: prospects and applications", INTECH Open Access Publisher, 2012.
- [11] S. Bellou, M. N. Baeshen, A. M. Elazzazy, D. Aggeli, F. Sayegh and G. Aggelis, "Microalgal lipids biochemistry and biotechnological perspectives", Biotechnology Advances, vol. 32(8), pp. 1476-1493, 2014.
- [12] S. Lim, W. Chu and S. Phang, "Use of *Chlorella vulgaris* for bioremediation of textile wastewater", Bioresource Technology, vol. 101, pp. 7314-7322, 2010.
- [13] A. Ruiz-Marin, L. G. Mendonza-Espinosa and T. Stephenson, "Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi-continuous cultures treating real wastewater", Bioresource Technology, vol. 101, pp. 58-65, 2010.
- [14] N. Abdel-Raouf, A.A. Al-Homaidan and I.B.M. Ibraheem, "Microalgae and wastewater treatment", Saudi Journal of Biological Sciences, vol. 19(3), pp. 257-275, 2012.
- [15] S. Sriram and R. Seenivasan, "Microalgae Cultivation in Wastewater for Nutrient Removal", J. Algal Biomass Utln, vol. 3, pp. 9- 13, 2012.
- [16] C. Wang, X. Yu, H. Lv and J. Yang, « Nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater by the green alga *Chlorella* sp.", J Environ Biol., vol. 34, pp. 421-425, 2013.
- [17] B. Martins, D. Monteiro and C. Fernandes, "Preliminary results of olive mil wastewater treatment by immobilized microalgae", Aperito Journal of Cellular and Molecular Biology, vol. 1(105), pp. 1-7, 2015.
- [18] O.A. Aiyegoro, D.A. Akinpelu, E.O. Igbinosa and H. I. Ogunmwonyi, "Effect of cassava effluent on the microbial population dynamic and physicochemical characteristic on soil community", Sci Focus, vol. 12, pp. 98-101, 2007.
- [19] J. Tampion and M.D Tampion, "Immobilized cells: principles and applications", Cambridge University Press, 1987, Cambridge, UK, pp. 257.



# Ação dos Coagulantes Tanino, Moringa Oleífera e Cloreto Férrico Associados a Filtração Direta no Tratamento de Água em corpos Lóticos na Região Sul do Brasil

Bruna Ricci Bicudo  
Escola Superior Agrária  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
[brunariccib@gmail.com](mailto:brunariccib@gmail.com)

Edilaine R. Pereira, Dandley Vizibelli, Thais Ribeiro,  
Fellipe J. L. Janz  
Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Londrina, Brasil  
[edilainepereira@utfpr.edu.br](mailto:edilainepereira@utfpr.edu.br), [dandley.22@hotmail.com](mailto:dandley.22@hotmail.com),  
[thaisribeiro@alunos.utfpr.edu.br](mailto:thaisribeiro@alunos.utfpr.edu.br), [fellipejanz@hotmail.com](mailto:fellipejanz@hotmail.com)

**Resumo**— Este trabalho apresenta um estudo comparativo da eficiência de dois leitos filtrantes de diferentes granulometrias somados aos processos de coagulação, floculação e sedimentação a partir dos coagulantes naturais e químicos, Moringa oleífera, Tanino e Cloreto Férrico, respectivamente, no tratamento de água de corpos lóticos. Simulou-se a partir da metodologia do Jar-teste as mesmas condições adotadas em estações de tratamento. Utilizou-se três coagulantes nas seguintes concentrações: Moringa oleífera ( $3\text{mg L}^{-1}$ ), Tanino ( $3\text{mg L}^{-1}$ ) e o Cloreto Férrico ( $6\text{mg L}^{-1}$ ). Os parâmetros analisados foram pH, condutividade elétrica, temperatura, cor aparente e turbidez. Os resultados evidenciaram que o emprego de ambos os leitos filtrantes foi eficiente em todos os tratamentos. No tratamento à base de Moringa oleífera a eficiência de remoção de turbidez saltou de 4,32% para 93,64% no leito filtrante G1 ao final do processo, e de 12,35% para 95,31% no leito filtrante G2. Após o emprego dos leitos filtrantes, para todos os tratamentos, a cor aparente foi reduzida a níveis abaixo do limite de detecção do aparelho, atingindo 100% de eficiência de remoção. Com a temperatura e a condutividade elétrica permanecendo constantes, e a baixa variação de pH, a turbidez foi o indicativo utilizado para determinar o coagulante e o leito filtrante mais efetivo, sendo estes o Tanino (95,03% para G1 e 95,51% para G2), e o leito filtrante G2 (95,31% para a Moringa oleífera, 95,51% para o Tanino e 95,00% para o Cloreto Férrico). Estes resultados comprovam a eficiência da proposta deste trabalho ao associar os leitos filtrantes aos processos de coagulação, floculação e sedimentação no tratamento de água e aquisição de uma melhor granulometria a ser empregada.

**Palavras Chave**— filtração direta; coagulantes; tratamento de água.

## I. INTRODUÇÃO

O sistema fundamental que remove a matéria particulada em um processo de tratamento de água é a filtração. Este processo emprega comumente um meio granular de um certo tamanho e profundidade, chamado leito filtrante, por onde a água pré-tratada passa. É neste leito filtrante onde a maioria

das partículas é retida na parte superior, bem como em toda a profundidade do leito[1].

Em se tratando do tratamento de água, a filtração constitui-se no processo que tem como função primordial a remoção das partículas responsáveis pela cor aparente e turbidez. Cabe, provavelmente, ao processo de filtração a função mais relevante nas estações de tratamento de água convencionais, é nesta etapa que as falhas, porventura ocorridas na coagulação, floculação e sedimentação/flotação, podem ser corrigidas, assegurando a qualidade da água tratada[2].

A portaria 2914/2011 vem por consolidar a relevância da filtração no meio técnico estabelecendo a necessidade desta etapa na distribuição da água captada em mananciais superficiais[2].

Observando o importante caráter do processo de filtração no tratamento de água, encontramos a necessidade de desenvolver uma pesquisa que avalie comparativamente a eficiência de dois leitos filtrantes de diferentes granulometrias somados aos processos de coagulação, floculação e sedimentação a partir de coagulantes naturais e químicos, neste caso, Moringa oleífera, Tanino e Cloreto Férrico. Esta análise objetiva encontrar as melhores características e associações dos diferentes coagulantes e leitos filtrantes a fim de sugerir a combinação mais eficiente, para no caso, tratamento de água de corpos lóticos.

## II. METODOLOGIA

O Ribeirão Jacutinga, localizado em Ibiporã, região Sul do Brasil, utilizado para captação de água para Estação de Tratamento de Água (ETA), foi o corpo lótico onde as amostras tratadas nesta pesquisa foram coletadas. Os ensaios foram realizados nas instalações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Londrina. Três foram os coagulantes utilizados nestes tratamentos, sendo eles Moringa oleífera, Tanino e Cloreto Férrico nas concentrações de  $3\text{mg L}^{-1}$ ,  $3\text{mg L}^{-1}$ , e  $6\text{mg L}^{-1}$  respectivamente.



Para a Moringa oleifera, a solução foi feita utilizando 10g da semente descascada, NaCl (1M) e 1L de água destilada. Para o Tanino, 1mL do mesmo foi misturado a 1L de água destilada, e para o Cloreto Férrico, a mesma proporção, 1g de sulfato para 1L de água destilada. A partir da metodologia do Jar-test, simulou-se então as mesmas condições adotadas em estações de tratamento. O equipamento que possuía seis jarros de dois litros, recebeu as amostras de água e os coagulantes nas devidas quantidades e concentrações. Realizou-se os tratamentos em duplicata para posterior análise estatística.

Inicialmente foi adotado um tempo de mistura rápida de 3 minutos com rotação de aproximadamente 150 rpm aproximadamente para que o processo de coagulação se realizasse. Posteriormente, para o processo de floculação, a velocidade foi reduzida a 15 rpm em um tempo de mistura de 10 minutos. Em seguida, o equipamento Jar-test foi desligado e deu-se início ao processo de sedimentação, sendo as amostras retiradas de 10 em 10 minutos para análise dos parâmetros estabelecidos. Após o desligamento do equipamento Jar-test, retirou-se as amostras para análise em 3 (T1), 13 (T2), 23 (T3) e 33 (T4) minutos, sendo que neste último tempo foi realizado uma análise dos parâmetros antes, e uma após a passagem pelos leitos filtrantes.

Os leitos filtrantes foram dispostos de maneira que após tratadas no equipamento Jar-test, as amostras pudessem ser transferidas direto a eles (Figura 1). Para a filtração, utilizou-se uma estrutura de ferro montada logo abaixo do Jar-test, de maneira a se aproveitar o fluxo. Apoiou-se nessa estrutura os respectivos leitos filtrantes com granulometria escolhida para cada tratamento, confeccionados de Polietileno Tereftalo (PET), dimensionados aproximadamente com 25 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro interno cada.



Figura 1. Disposição do Jar-test e dos leitos filtrantes.

Dos 25 centímetros de cada leito filtrante, 15 foram preenchidos por areia com granulometria específica, 3 cm preenchidos por brita, e 2 cm preenchidos por algodão, contendo também um filtro de café em contato com o algodão e a brita, na extremidade inferior, com a função de retenção dos grãos do leito filtrante [3]. As granulometrias de areia utilizada para a confecção dos leitos filtrantes estão na faixa de até 0,425mm (G1) e de 0,425mm a 0,800mm (G2), para esta separação e utilizou-se o aparelho separador granulométrico que, por meio de agitação de peneiras, realizou o processo (Figura 2). Para submeter a areia ao processo de

separação, a mesma foi lavada, e seca em estufa por 24 horas a 170°C.



Figura 2. Separador granulométrico

Após a coleta para análise dos parâmetros no T4, as amostras foram direcionadas por meio de tubos aos leitos filtrantes como pode-se observar na Figura 1, estes tubos foram posicionados em angulações diferentes de 50°, 60° e 70° graus, nesta ordem, para impedir que a água penetrasse por meio de um caminho preferencial no leito filtrante, os tubos permaneceram por cerca de 2 minutos em cada angulação, tempo suficiente para gerar uma quantidade de amostras que sustentasse a análise de todos os parâmetros.

Os parâmetros analisados foram pH, condutividade elétrica, temperatura, turbidez e cor aparente, e através dos resultados obtidos, foram realizadas também análises estatísticas com o auxílio do programa estatístico BioEstat, comparando ao final os resultados para todos os parâmetros estabelecidos.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de temperatura registrados durante o decorrer do tratamento estão representados graficamente na Figura 3.



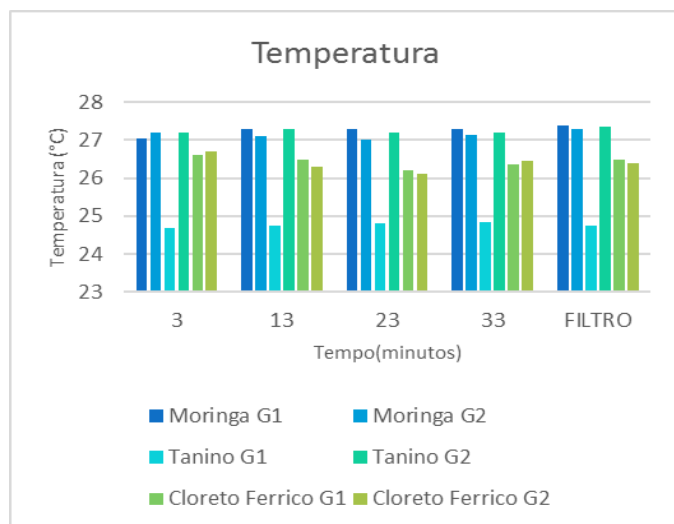


Figura 3. Gráfico de comportamento da temperatura.

A Figura 4 representa graficamente os valores de condutividade elétrica para todos os tratamentos nos devidos tempos durante o ensaio.

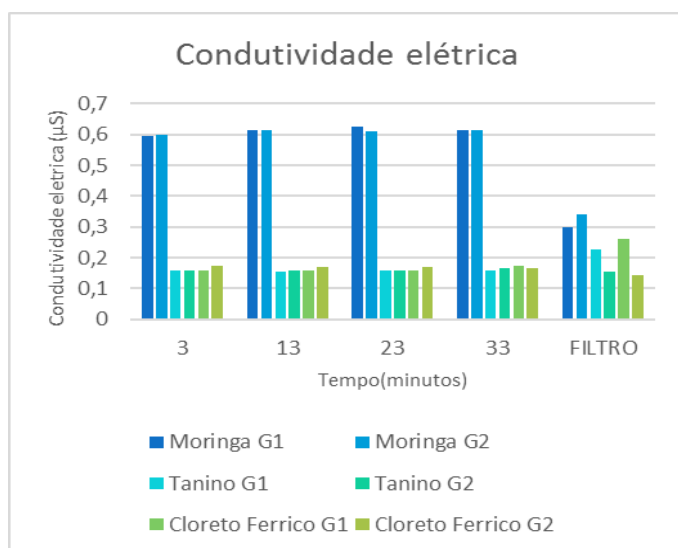


Figura 4. Gráfico de comportamento da condutividade elétrica.

Os valores de temperatura e condutividade elétrica que foram observados no decorrer do ensaio se mantiveram constantes para o primeiro e dentro da variação esperada para o segundo, uma vez que a *Moringa oleifera* apresenta valores mais altos de condutividade elétrica devido as propriedades de sua solução salina.

Os valores de pH observados no decorrer do ensaio, estão representados graficamente na Figura 5.

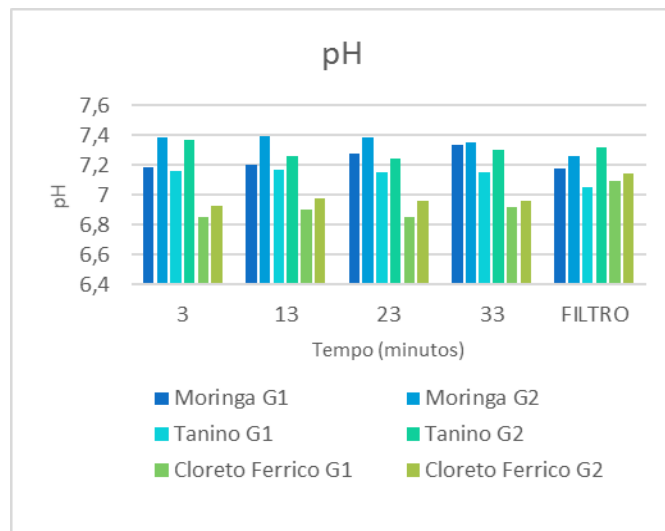


Figura 5. Gráfico de comportamento do pH.

Ao analisar os dados ilustrados na Figura 3, nota-se que os valores desse parâmetro mantiveram-se estáveis na maior parte do ensaio, apresentando pequena variações, destaca-se os valores menores de pH para o coagulante Cloreto Férrico. Aplicando-se a análise estatística aos dados, após a filtração, os dados de pH não demonstram variação significativa entre si, e todos os valores se mantiveram dentro da faixa de pH estabelecida pela portaria N° 2914 de 2011, emitida pelo Ministério da Saúde, que estabelece pH entre 6,0 e 9,5 para águas no sistema de distribuição[4].

Os valores representados na Figura 6 apresentam o comportamento da eficiência de remoção de cor aparente dos três coagulantes.

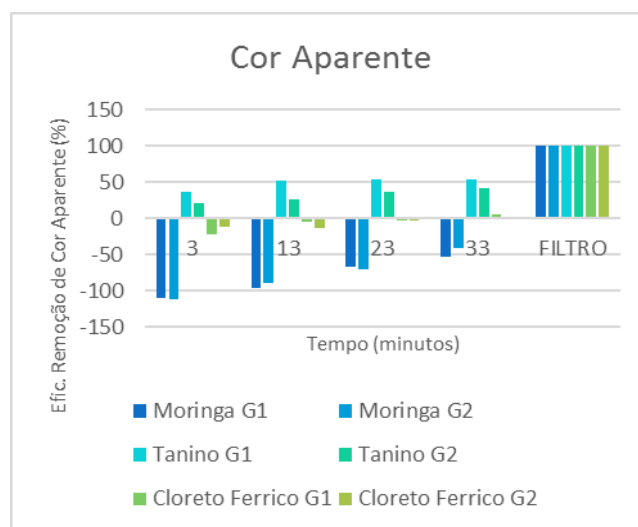


Figura 6. Gráfico de eficiência de remoção de cor aparente.

Nota-se que antes de passar pelo leito filtrante, a *Moringa oleifera* apresentou uma eficiência de remoção menor do que zero, indicando uma piora em relação a amostra bruta. O coagulante Tanino apresentou os melhores resultados se não combinados a passagem pelo leito filtrante (53,65% e 42,59% no T4). Aplicando a análise estatística com o método de Turkey, observa-se que não houve diferença significativa apenas entre as amostras de mesmo coagulante, quando

cruzamos a análise de dois coagulantes diferentes, existe diferença significativa em qualquer dos casos.

Após a passagem pelos leitos filtrantes, todas as amostras, independente do coagulante utilizado, reduziram seus níveis de cor aparente a valores abaixo do nível de detecção do aparelho, indicando uma eficiência de remoção de cor aparente de 100%. Ambos os filtros, G1 e G2, alcançaram estes índices.

A Figura 7, apresenta o percentual da eficiência de remoção do parâmetro de turbidez para todos os tempos e tratamentos.

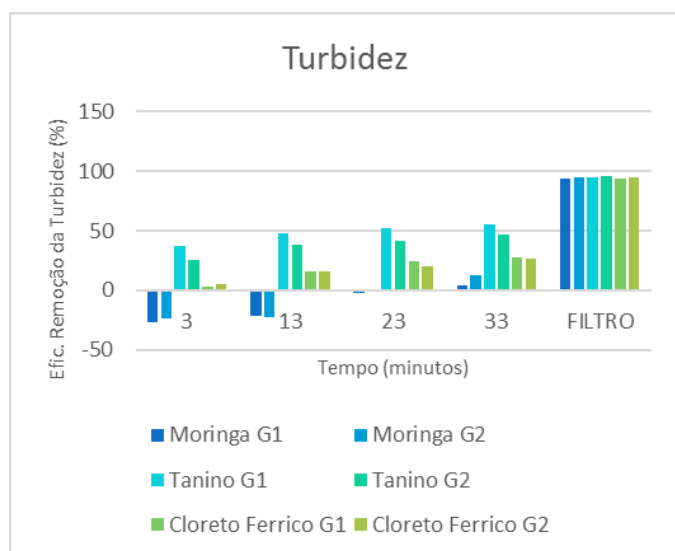


Figura 7. Gráfico de eficiência de remoção de turbidez.

Neste parâmetro observa-se novamente que a *Moringa oleifera* apresentou resultados abaixo da amostra bruta, porém a partir do T3 (23 minutos) os resultados começaram a apresentar números positivos. O Tanino novamente se destacou como o coagulante que alcançou os melhores resultados de eficiência de remoção de turbidez sem o auxílio dos leitos filtrantes (55,57% e 47,07% no T4). Aplicando a análise estatística junto ao teste de Tukey, para a comparação e análise de significância entre estes dados, nota-se que houve diferença significativa entre todos os diferentes coagulantes, somente entre os tratamentos de mesmo coagulante a diferença não foi significativa.

Ao final dos 33 minutos de ensaio, após a passagem pelo leito filtrante, todos os tratamentos atingiram níveis de eficiência de remoção de turbidez acima dos 90% como demonstrado na tabela 1. Entre os tratamentos não houve diferença significativa, porém, fica evidente uma pequena superioridade dos tratamentos combinados ao leito filtrante G2.

Tabela 1. Resumo da eficiência de remoção de turbidez para G1 e G2.

Efic. Remoção da Turbidez após Filtração Direta	Coagulantes	Efic. Remoção da Turbidez G1 (%)	Efic. Remoção da Turbidez G2 (%)
	<i>Moringa oleifera</i>	93,36	95,31
	Tanino	95,00	95,51
	Cloreto Férrico	93,46	95,00

#### IV. CONCLUSÃO

Ao final do ensaio, a análise demonstrou claramente a alta eficiência de remoção de turbidez e cor aparente por ambos os leitos filtrantes. O parâmetro turbidez foi importante para indicar o melhor leito filtrante visto que a eficiência de remoção de cor aparente alcançou 100% para todos os tratamentos, sendo assim, o leito filtrante G2 foi o melhor pois sua eficiência de remoção de turbidez superou os 95% para todos os tratamentos. Os níveis máximos estabelecidos pela portaria N° 2914/2011 para pH, turbidez e cor aparente também foram estabelecidos. Conclui-se que a associação dos leitos filtrantes aos processos de coagulação, floculação e sedimentação, a partir de coagulantes naturais e químicos foi eficiente para a remoção dos parâmetros turbidez e cor aparente, sem prejudicar os demais parâmetros pH, temperatura e condutividade elétrica.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Brasil.

#### REFERÊNCIAS

- [1] KAWAMURA, S. Integrated design and operation of water treatment facilities. 2nd ed. Canada: John Wiley & Sons, INC., 2000. 2nd ed. 681p.
- [2] LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3rd ed. Campinas, SP: Editora Atomo, 2010. 494p.
- [3] DI BERNARDO, L. et al. Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração direta. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. Projeto PROSAB 468 p.
- [4] BRASIL. Portaria n.º 2914, Ministério da Saúde, de 12 de dezembro de 2011, Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n° 239, de 14 dez. 2011, Seção 1, página 39/46.

# *Avaliação de impactos ambientais na bacia do Ribeirão Cambé em Londrina, PR, Brasil*

Tomada de parâmetros biogeofísicos, limnológicos e sócio-econômicos

Larissa Oliveira Paulista<sup>1</sup>

Departamento de Ambiente e Recursos Naturais - ESA,  
Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR,  
Campus Londrina, Londrina, Brasil  
larissa-paulista@hotmail.com

Carolina Beatriz Mulero<sup>2</sup>

Departamento de Engenharia Ambiental –DAAMB  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR,  
Campus Londrina, Londrina, Brasil  
mulero.carol@gmail.com

Bruna Luiza Babinski<sup>3</sup>

Gerência de Manutenção e Utilidades BRF.SA Videira -  
Supervisora Trainee.  
Rua XV de Novembro, 100, Centro, Videira, SC.  
luizababinski@hotmail.com

Ana Lígia do Nascimento Martins<sup>4</sup>

Departamento de Engenharia Ambiental –DAAMB  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR,  
Campus Londrina, Londrina, Brasil  
analigianmartins@gmail.com

Edson Fontes de Oliveira<sup>5</sup>

Departamento de Engenharia Ambiental - DAAMB  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR,  
Campus Londrina, Londrina, Brasil  
edsonoliveira@utfpr.edu.br

**Resumo** — As mudanças no uso da terra geram intenso desmatamento, influenciando a qualidade da água ao longo das bacias hidrográficas. As zonas ripárias são sensíveis às influências humana e, as ações antrópicas podem comprometer significativamente a qualidade ambiental da bacia hidrográfica e o sistema de drenagem das cidades. Por isso, é de suma importância avaliar os impactos ocasionados e identificar as suas origens. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo a avaliação de impactos ambientais do Ribeirão Cambé do município de Londrina, PR, Brasil, a partir da análise de parâmetros atmosféricos, limnológicos, sócio-econômicos e biogeofísicos. Para isso, foi realizado amostragem em quatro pontos e em cada ponto foram realizadas oito amostragens. O primeiro ponto (P1) de coleta ocorreu na nascente do Ribeirão Cambé, representando um sistema lótico (rio); o segundo ponto (P2) foi no lago Igapó IV apresentando um ambiente semi-lêntico (reservatório); o terceiro ponto (P3) correspondeu a um canal localizado entre as barragens do Lago Igapó II e III; e por fim o último ponto (P4) lótico localizado após o despejo do esgoto tratado da cidade. Quanto ao cumprimento da área de preservação permanente (APP), nenhum dos pontos estava dentro dos parâmetros legais. O P1 apresentou espuma excessiva caracterizada por algum despejo inadequado de efluente industrial e pela elevada condutividade da água. Já o P2 apresentou grande área do corpo hídrico coberta com macrófitas, sendo identificadas três espécies. O P3 apresentou baixa densidade arbórea em sua maioria exótica, sendo comprovado pela baixa umidade do ar. O corpo hídrico no P4 apresenta o pH elevado e baixa transparência, justificado pelo uso e ocupação da estação de tratamento de água residual

(ETAR). De maneira geral, foi possível observar que os principais impactos causados são de origem antrópica.

**Palavra-chaves**— área de preservação permanente; atividade antrópica; vegetação ripária.

## I. INTRODUÇÃO

A água é considerada o recurso de maior importância para a sobrevivência da sociedade e de todos os seres vivos. Ela participa de todos os ciclos ecológicos, principalmente pelo fato dos sistemas aquáticos fazerem parte dos ciclos biogeoquímicos sendo, dessa forma, responsável pela diversidade biológica do nosso planeta. Há estreita relação dos ecossistemas terrestres com os recursos hídricos, já que eles regulam o fluxo de água, reduzem o transporte de materiais em suspensão para os rios e condicionam a recarga dos aquíferos [1].

As mudanças no uso da terra geram fragmentação da vegetação ripária e desmatamento, influenciando a qualidade da água ao longo das bacias hidrográficas. As zonas ripárias possuem a função de: (i) conservação da biodiversidade; (ii) conexões ecológicas e genéticas; (iii) promoção da qualidade da água; (iv) prevenção da erosão de rios; (v) mitigação de inundações; e (vi) proporciona estabilidade térmica em pequenos cursos de águas [2], [3], [4], [5]. Esses sistemas são diversos, dinâmicos, complexos e, também, sensíveis às influências humanas [6], podendo comprometer

significativamente a qualidade das bacias hidrográficas, bem como o sistema de drenagem das cidades [7].

O maior problema na gestão das águas não está no seu consumo, e sim no seu retorno para o meio ambiente. De acordo com o Ministério das Cidades, aproximadamente 25% do esgoto coletado no Brasil recebe algum tipo de tratamento, enquanto os outros 75% são despejados de forma bruta nos corpos hídricos [8]. Esse despejo inadequado causa um intenso desequilíbrio ecológico no corpo hídrico receptor, tornando difícil a absorção desse excesso de nutrientes pelo ambiente aquático [9].

Para que haja a recuperação e a conservação desses sistemas aquáticos, é necessário a existência de um banco de dados para cada um separadamente, que permita a sua contínua avaliação, com aplicações de modelos matemáticos e ecológicos. Nesse contexto, se faz importante o conhecimento do funcionamento do ciclo hidrológico com todas as suas características, fornecendo assim uma base de dados sólida de ciência, tecnologia e inovação, para o que gerenciamento integrado de recursos hídricos ocorra de maneira eficiente [10], [11], [12].

O rio Tibagi localiza-se a leste do município de Londrina, Paraná, Brasil, sendo um dos principais formadores da bacia hidrográfica do rio Paranapanema (Bacia do Alto Rio Paraná), com área urbana total de 245,52 km<sup>2</sup>. É composto por sub-bacias como: Cambé, Jacutinga, Lindóia, Limoeiro, Cafezal e Três Bocas [13]. O Ribeirão Cambé mede aproximadamente 27 km de extensão e sua bacia localiza-se nos Municípios de Cambé e Londrina, sendo composta pela cadeia de reservatórios formada pelos Lagos Igapós I, II, III e IV. Sua nascente se encontra a oeste de Londrina, no trevo das estradas Londrina/ Cambé – São Paulo/ Curitiba e sua foz está localizada no Ribeirão Três Bocas [14].

Os Lagos foram contruídos em 1959 para solucionar o problema de drenagem do Ribeirão Cambé a partir de seu represamento [15]. Entretanto, ao redor dos lagos houve grande avanço urbano, com os Lagos I e II apresentando ocupação urbana em 74,6% da área que legalmente deveria ser destinada à preservação [16]. Estudos realizados por [17] no Lago Igapó I revelaram concentração crescente de coliformes na água. Além disso, foi observada a presença de bactéria resistente aos metais pesados e uma gama de antimicrobianos, os quais podem prejudicar a saúde das pessoas que utilizam o lago, bem como para a vida aquática [18]. Problemas como assoreamento foram identificados, com a necessidade de remoção dos sedimentos que chegam a 241.893 m<sup>3</sup>, o que representa 12,78% do volume total, incluindo todos os Lagos e o canal lateral entre os Lagos III e II [19].

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi analisar, *in loco*, os componentes biogeofísicos, limnológicos e sócio-econômicos do entorno de um ecossistema lótico e um semi-lêntico localizados no Ribeirão Cambé.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Pontos de coleta

Esse estudo foi realizado em quatro pontos no Ribeirão Cambé: o primeiro ponto (P1) de coleta ocorreu na nascente do Ribeirão Cambé, representando um sistema lótico (rio); o segundo ponto (P2) foi no lago igapó IV apresentando um ambiente semi-lêntico (reservatório); o terceiro ponto (P3) também um sistema semi-lêntico, localizado em um canal entre as barragens do Lago Igapó II e III; e o ponto (P4) que representa um ambiente lótico, após o despejo do esgoto tratado da cidade (Tabela I e Figura 1). Em cada um deles foram estabelecidos oito transectos de coleta e análise de parâmetros biogeofísicos e limnológicos, bem como as características de ocupação da margem e fisionomia do entorno.

TABELA I. LOCALIZAÇÃO DA COLETA DE AMOSTRAS

Ponto	Localização	Ambiente	Latitude	Longitude
P1	Nascente	Lótico	23°17'18,7"S	51°14'6,8"W
P2	Lago Igapó IV	Semi-lêntico	23°18'58,7"S	51°11'16,5"W
P3	Ligação entre o Lago Igapó II e III	Semi-lêntico	23°19'29,7"S	51°10'42,8"W
P4	Após o despejo do esgoto tratado	Lótico	23° 21' 11" S	51° 06' 55" O

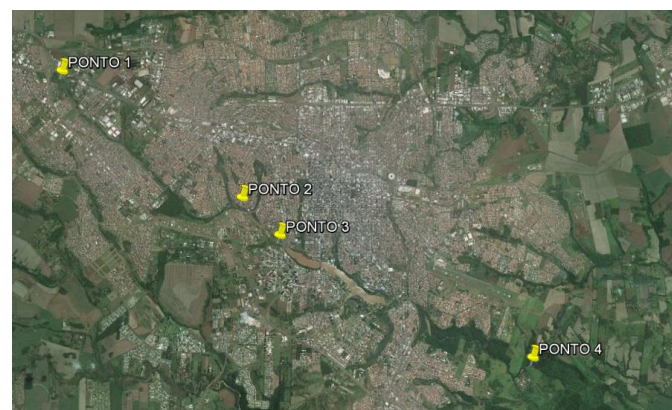


Fig. 1. Localização dos pontos de coleta.

### B. Parâmetros socioeconômicos do entorno

Para a caracterização socioeconômica do entorno avaliou-se as principais características de uso e ocupação do solo, o uso do solo nas margens e no entorno, e, características econômicas e sociais da bacia.

### C. Parâmetros biogeofísicos

Foram analisados os parâmetros biogeofísicos por meio da estrutura da margem, presença e caracterização de áreas alagáveis marginais, cobertura da superfície aquática por macrófitas aquáticas e estrutura e integridade da zona litorânea.



## D. Parâmetros atmosféricos e limnológicos

As análises para determinação dos parâmetros atmosféricos e limnológicos foram realizadas por equipamentos portáteis *in loco* (Tabela II). Foram analisados: luminosidade solar ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ); temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e umidade relativa (%); pH; condutividade elétrica ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ); transparência e profundidade da água (cm); largura do corpo hídrico (m). Os dados foram obtidos aproximadamente em torno das 16h00, com uma nebulosidade entorno de 20%, sem a presença de vento e neblina. Os dados coletados foram analisados através da estatística Scott Knott com nível de significância de 5%.

O disco Secchi mede a transparência em relação a luz refletida a partir do disco, quanto maior é a concentração do material dissolvido ou suspenso, menor é a transparência devido ao processo de absorção e de dispersão [20].

TABELA II. ANÁLISES E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Análise	Instrumento
Análise da radiação solar a 1 metro e a 5 metros da margem do corpo hídrico.	Luxímetro portátil da marca Instrutherm modelo LD-300.
Análise de temperatura e umidade do ar.	Light portátil da marca ICELmanaus modelo HT – 208.
Análise da condutividade da amostra de água coletada em cada ponto.	Condutivímetro portátil da marca Instrutherm modelo CD – 860.
Análise do pH e temperatura da amostra de água coletada em cada ponto.	pHmetro da marca AKSO modelo AK 90.
Análise da profundidade do corpo hídrico, bem como seu nível de transparência.	Disco Secchi acoplado a uma fita métrica [21].
Largura do corpo hídrico e vegetação	Através de medições no google Earth

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

## A. Parâmetros socioeconômicos do entorno

Os principais usos dos locais de coleta são residenciais. O P1 apresenta ocupação industrial ao entorno, o que foi confirmado com a presença de espumas encontrado no local. Além disso, o P3 apresenta campos que interferem na constituição da vegetação, enquanto o P4 possui uma estação de tratamento de água residual (ETAR) que pode interferir na qualidade da água do local.

A vegetação exótica ou invasora é predominante em sistemas que sofreram alterações antrópicas [22], [23]. Foram encontradas no P2 e P3, onde a classe econômica é média e alta. Por outro lado, os pontos P1 e P4 apresentam vegetação ripária, onde as características econômicas são classificadas como classe média e classe baixa (Tabela III).

TABELA III. PARÂMETROS SOCIOECONÔMICOS

Pontos	Principais características de uso e ocupação do solo	Uso do solo nas margens e no entorno	Características econômicas e sociais
1	Industrial, Residencial	Vegetação ripária, residências e campos	Classe média e classe baixa
2	Residencial	Vegetação exótica, residências e campos	Classe média e classe alta
3	Residencial, Campo	Vegetação exótica, residências e campos	Classe média e classe alta
4	ETAR, Campos e vegetação ripária	ETAR, campos e vegetação ripária	Classe rural classe baixa

## B. Parâmetros biogeofísicos

No P1 localiza-se a nascente do Ribeirão Cambé, onde são necessários 50 metros de vegetação nativa ripária de acordo com a legislação ambiental brasileira [24]. O P2 está em um corpo hídrico com largura entre 50 m a 200 m, necessitando de uma largura mínima de 100 m de área de preservação permanente (APP). No P3 a largura está entre 10 e 50 m, necessitando de uma APP de 50 m. Por fim, no P4 que possui largura inferior a 10 m, exige uma área de APP de 30 m [24]. Em todos os casos há insuficiência quanto às exigências legais (Figura 2).



Fig. 2. Pontos de coleta em relação a densidade de vegetação da margem.

\*Valores e listagem em amarelo estão de acordo com o Código Florestal, lei nº 12.651/12

## 1. Ponto 1

O P1 apresenta baixa declividade, apresentando vegetação ripária secundária com integridade média. O corpo hídrico se revelou mais estreito, com ausência de macrófitas, baixa área relativa alagável e presença de rochas e sedimentos no substrato.

Na zona ripária se verificou indicativos de queimada antrópica, a qual provoca poluição do ar, solo e água. Além disso, havia presença de resíduos sólidos urbanos no local (Figura 3 – A). Isso é algo preocupante por estar relacionado à ausência de educação ambiental e de preocupação com a qualidade do ambiente pela sociedade [25]. Outro problema

encontrado foi a presença excessiva de espumas (Figura 3 – B) no corpo hídrico, que de acordo com [26] pode indicar o despejo inadequado de efluente.



Fig. 3. Irregularidades encontradas no P1.

## 2. Ponto 2

A estrutura da margem nesse trecho apresentou cerca de 40% de declividade, com alto potencial de erodibilidade devido à ausência de mata nativa na margem do reservatório. A pouca vegetação ripária presente no local foi secundária, ainda em recuperação, revelando o desmatamento da vegetação nativa.

As áreas alagáveis marginais apresentavam pouca serapilheira e sedimentos urbanos e, parte delas, estavam com a presença de macrófitas aquáticas. O substrato do corpo hídrico no P2 estava coberto por sedimentos, com ausência de rochas expostas. Essas informações podem revelar a péssima integridade da zona litorânea, que se encontra bastante assoreada, com elevada densidade de gramíneas.

Quanto à cobertura vegetal, foi possível identificar três espécies (Figura 4) de macrófitas, cobrindo entre 10 e 20% de área total do lago. A presença dessas macrófitas pode indicar o excesso de nutrientes e o início do processo de eutrofização no local. Podendo provocar como efeito primário o aumento de biomassa de algas e potencialmente aumento da produção de toxinas, além disso, como efeito secundário a redução da penetração de luz e oxigênio dissolvido, perdas de habitat associados e a morte de peixes [27].



Fig. 4. Gêneros de macrófitas aquáticas encontradas no P2.

## 3. Ponto 3

A respeito da estrutura da margem direita do local, o grau da declividade era extremamente elevado, entre 45% a 50%, com potencial de erodibilidade também alto, ausência de vegetação ripária e baixa integridade da vegetação. A

vegetação observada no entorno foi de araucária, eucalipto, bambu, bananeira, uva-do-japão, tulipeiro-da-áfrica (Figura 5). Sendo em sua maioria vegetação exótica.

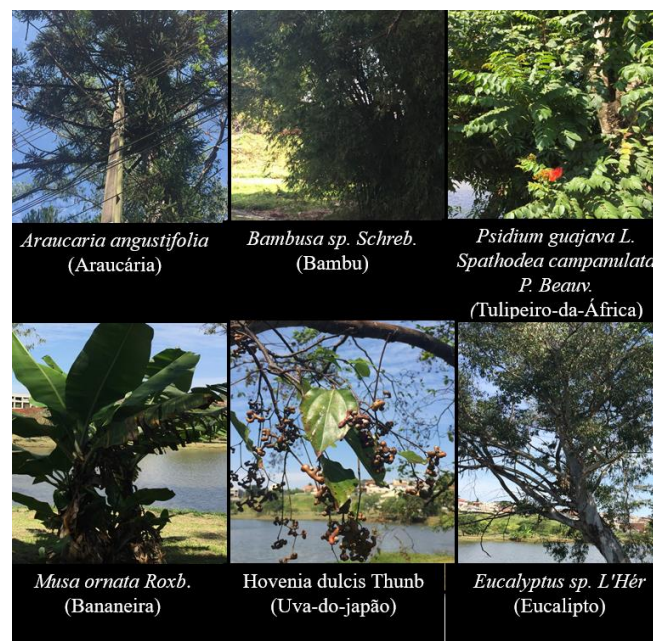


Fig. 5. Espécies de vegetação encontradas no P3.

Em relação às áreas alagáveis marginais foi observada área relativa significativa, bem como, pouca presença de serapilheira e sedimentos. Sobre a cobertura da superfície aquática por macrófitas aquáticas, apenas uma espécie (gênero *Luziola* do grupo das gramíneas) foi detectada, com baixa densidade e com preenchimento de 2% da cobertura total.

Quanto à integridade da zona litorânea, foi caracterizada pela baixa qualidade ambiental e alto índice de assoreamento, principalmente devido à declividade, ausência de mata ciliar e presença de sedimentos. Além disso, foram verificadas as presenças de resíduos sólidos urbanos, macrófitas aquáticas e gramíneas.

O fato da região em estudo estar localizada dentro do perímetro urbano de Londrina-PR, colabora na degradação do ambiente e justifica a presença de diversos parâmetros observados, como a presença de resíduos sólidos que decorre principalmente da má conscientização e destinação dos resíduos urbanos do entorno residencial. Assim, com a grande área aberta, há tendência de avanço das enchentes em direção ao perímetro residencial.

## 4. Ponto 4

Os dados da estrutura marginal do corpo hídrico foram observados de acordo com a sua margem esquerda, a qual exibiu elevado grau de declividade, o que acentua seu potencial de erodibilidade. No P4 foi constatado que não há presença de áreas alagáveis marginais, visto que o rio possui um leito encaixado neste trecho. Na margem observada, verificou-se baixa presença de serapilheira, também devido à



degradação ambiental sofrida pela vegetação ciliar. Entretanto há significativa presença de sedimentos, justamente pelo fato de não possuir a proteção da vegetação marginal densa para amortecimento.

No que se refere à estrutura da zona litorânea, foi possível observar a presença, principalmente, de rochas e de sedimentos. A integridade da zona litorânea demonstrou baixa qualidade ambiental com coloração da água escura, presença de espuma e odor característico de esgoto (Figura 6). Acredita-se que essa baixa qualidade ambiental é devido à presença da Estação de Tratamento de Esgoto a montante do curso d'água, o que justifica parte da baixa integridade ambiental encontrada neste trecho.



Fig. 6. Situação do corpo hídrico no P4.

### C. Parâmetros limnológicos

Os parâmetros limnológicos refletem a situação no local (Tabela IV). A radiação incidente a 1 m e a de 5 m da margem não revelaram diferenças estatísticas significativas (para o resultado do teste estatístico de Scott-Knott). Os valores de radiação demonstraram ampla variação em relação às oito amostras coletadas em cada ponto, indicando a presença de vegetação ripária com integridade média e baixa. O P1 e o P4 apresentaram menores valores de luminosidade, os quais refletem as melhores estruturas de vegetação ripária secundária nessas áreas. Já nos P2 e P3 os valores de radiação foram mais elevados, refletindo a ausência de vegetação nesses locais. Isso também é perceptível em relação aos valores de umidade do ar, os quais foram maiores no P1 e no P4 e menores no P2 e no P3, onde a vegetação era menos densa, fato também observado por [15].

De acordo com [28] o aumento da temperatura diminui a solubilidade dos gases (oxigênio) e aumenta a condutividade para uma mesma concentração iônica. De fato, a maior temperatura da água foi encontrada no P1 onde os valores de condutividade foram maiores. Percebe-se que a temperatura da água foi maior que a temperatura do ar no P1 e no P2 e foram menores no P3 e no P4, onde estava mais crítica.

Os valores de pH da água nos diferentes pontos analisados se enquadraram nos padrões de potabilidade

exigido pela Portaria nº 2914/11 [29], com valores entre 6,0 a 9,5. Entretanto o pH variou de 6,7 a 7,2 do primeiro ao quarto ponto analisado o que pode indicar a presença de despejos [30].

Em todos os pontos a profundidade foi semelhante estatisticamente, entretanto o dado de transparência no P4 foi significativamente inferior, o que se reflete na diferença entre os parâmetros, como na turbidez na água [5]. A transparência da água interfere na formação de diferentes perfis verticais de produtividade primária do fitoplâncton, resultando em padrões distintos de produtividade (inibição fotossintética) [28].

TABELA IV. PARÂMETROS LIMNOLÓGICOS ANALIZADOS

Parâmetros	P1	P2	P3	P4
Radiação 1 m ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	957,13 <sup>a</sup>	2613,38 <sup>a</sup>	5661,75 <sup>a</sup>	849,38 <sup>a</sup>
Radiação 5 m ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	1568,88 <sup>a</sup>	1529,00 <sup>a</sup>	12572,50 <sup>a</sup>	1007,38 <sup>a</sup>
Umidade ar (%)	66,63 <sup>b</sup>	64,25 <sup>b</sup>	58,75 <sup>a</sup>	65,75 <sup>b</sup>
Temperatura ar (°C)	21,85 <sup>a</sup>	20,78 <sup>a</sup>	22,85 <sup>a</sup>	22,25 <sup>a</sup>
Condutividade água (mS.cm <sup>-1</sup> )	1,28 <sup>a</sup>	0,40 <sup>a</sup>	0,21 <sup>a</sup>	0,32 <sup>a</sup>
pH água	6,74 <sup>a</sup>	6,88 <sup>a</sup>	6,88 <sup>a</sup>	7,23 <sup>b</sup>
Temperatura água (°C)	22,39 <sup>b</sup>	21,54 <sup>a</sup>	21,60 <sup>a</sup>	21,34 <sup>a</sup>
Profundidade (cm)	25,63 <sup>a</sup>	39,50 <sup>a</sup>	55,20 <sup>a</sup>	46,00 <sup>a</sup>
Transparência (cm)	25,62 <sup>b</sup>	37,63 <sup>c</sup>	53,58 <sup>c</sup>	3,63 <sup>a</sup>
Diferença da Profundidade e Transparência (cm)	0,0041 <sup>a</sup>	1,88 <sup>a</sup>	1,63 <sup>a</sup>	42,38 <sup>b</sup>
Largura corpo hídrico (m)	1,97 <sup>a</sup>	50,98 <sup>c</sup>	9,15 <sup>b</sup>	8,71 <sup>b</sup>

\*Teste estatístico de Scott-Knott com 5% de significância. Letras iguais nas linhas implicam em equivalência estatística nos valores

### D. Algumas medidas a serem tomadas

Para se elaborar um protocolo de recuperação da microbacia do Ribeirão Cambé se faz necessário um intenso programa de pesquisas e levantamentos de dados, podendo ser usado ainda uma combinação de métodos para se obter um resultado mais eficiente. As medidas a curto prazo seriam minimizar as fontes de poluição encontradas (P1 e P4), realizar a remoção mecânica de resíduos sólidos (P1, P2 e P3) e das macrófitas aquáticas (P2 e P3). As medidas a médio prazo seriam a retirada de sedimentos por drenagem e adensamento em tubos geotêxtil (todos os pontos) [19], contenção de taludes e margens utilizando mantas de fibras naturais junto a vegetação nativa (P4) [31] e a inserção de lixeiras (P1, P2 e P3). Por fim, as medidas a longo prazo seriam realizar em todos os pontos a recomposição da vegetação ripária, realizar conscientização e educação ambiental, reintrodução das espécies nativas para manutenção dos ecossistemas aquáticos e realizar o monitoramento e análise da efetividade do sistema de recuperação.



## IV. CONCLUSÃO

Foi possível observar que os principais impactos causados são de origem antrópica, com as áreas de preservação permanente em intenso estado de degradação, ocupação irregular e desordenada, indícios de assoreamento, despejo inadequado de efluentes, tratamento não eficiente de esgoto, além de resíduos sólidos com descarte incorreto.

É imprescindível a participação da Prefeitura e de órgãos públicos nesse contexto, o que claramente não está sendo observado. O apoio populacional da sociedade que se concentra em torno do Ribeirão Cambé também é importante, principalmente com o intuito de pressão popular para que medidas governamentais sejam tomadas.

Para trabalhos futuros sugerem-se a proposta de um sistema de prevenção, conservação e recuperação das áreas degradadas. Através do uso de metodologias combinadas, já que cada trecho da bacia hidrográfica possui uma dinâmica intrínseca, complexa e particular, considerando seus fatores sociais, econômicos e ambientais.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Ambiental da UTFPR/Campus Londrina pela logística para a coleta dos dados.

## REFERÊNCIAS

- [1] Tundisi, J.G. (2001). “Limnologia e gerenciamento integrado de recursos hídricos. Avanços conceituais e metodológicos”. *Ciência e Ambiente*, 21, 9-20.
- [2] Gregory, S. V, Swanson, F. J., Mckee, W. A., & Cummins, K. W. (1991). *An Ecosystem Perspective of Riparian Zones*, 41, 8.
- [3] Pollock, M. M., & Oceanic, N. (1993). The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Society of America*, 209-212.
- [4] Broadmeadow, S. B., Jones, J. G., Langford, T. E. L., Shaw, P. J., & Nisbet, T. R. (2011). The influence of riparian shade on lowland stream water temperatures in southern england and their viability for brown trout y, 237, 226–237.
- [5] Gómez, R. A. (2015). Análisis espectral del Lago de Guadalupe , mediante imágenes de satélite y datos in situ Spectral analysis of the Lake of Guadalupe through satellite imagery and in situ data. *Investigaciones Geográficas: Boletín Del Instituto de Geografía*, 86, 15–24.
- [6] Décamps, H.;Naiman, R. J.; McClain, M. E. (2009). Riparian Zones. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 396–403.
- [7] Souza, A. (2013). Influence of riparian vegetation and forest structure on the water quality of rural low- order streams in SE Brazil.*Forest Ecology and Management*, 298, 12-18.
- [8] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2011) Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Banco da Dados Agregados (PNAD). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/pnad/pnadpb.asp?o=3&i=P>. Acesso em 04 maio 2017.
- [9] Lisboa, C. K; Barros, M. V. F. (2003). A pegada ecológica como instrumento de avaliação ambiental para a cidade de Londrina. *Confins*, n. 8. Disponível em: <http://confins.revues.org/index6395.html> >. Acesso em: 22 jun. 2016.
- [10] Bordage, B. Summary of the water breakout session.(2007). In: *Integrating Science and Technology into development policies: an international perspective*. OECD. p. 125- 129.
- [11] Tundisi, J.G. & Matsumura Tundisi, T. *Limnologia*. (2008). Oficina de Textos Editora, São Paulo. 632 p.
- [12] Rebouças, A. C. (2011). *Uso inteligente da água*. 2 ed. Escrituras.
- [13] Barros, M. V. F.; Archela, R. S.; Barros, O.N.F.; Gratão, L. H. (2008). *Atlas Ambiental de Londrina*. Projeto de Pesquisa n. 05058/08.
- [14] Silva Junior, F. et al. Áreas de Preservação Permanente: uma análise de caso dos fundos de vale dos lagos Igapó I, II, III e IV na cidade de Londrina – Pr- Brasil. Disponível em: < <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx>>. Acesso em 22 de jun de 2016.
- [15] Maeda, K. S. (2008). O “ colar de esmeraldas ” da paisagem londrinense. Dissertação de mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.
- [16] Scalco, A. V., & Baldin, M. G. (2013). Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 2717–2724.
- [17] Romeiro, N. M. L., Castro, R. G. S., Cirilo, E. R., & Natti, P. L. (2011). Local calibration of coliforms parameters of water quality problem at Igapó I. *Ecological Modelling*, 222(11), 1888–1896.
- [18] Gomes, G. B. (2015). Multirresistência de *enterococcus sp.* Isolados do lago igapó na cidade de Londrina - PR. Referente ao trabalho de conclusão de curso de engenharia ambiental da universidade tecnológica federal do paraná campus londrina. Londrina, PR, brasil.
- [19] Instituto das Águas Do Paraná. (2015). Estudo metodológico e projeto para serviço de limpeza e desassoreamento dos lagos igapó, no município de londrina. Relatório técnico, volume I, Curitiba.
- [20] Preisendorfer, W. (1986). Secchi disk science: Visual optics of natural waters. *Limnology and Oceanography*, 31 (5), 909-926.
- [21] Carlo, m., & gordon, h. R. (1985). Ship perturbation of irradiance measurements at sea. 1: monte carlo simulations, 24(23).
- [22] Kuhman, t. R., pearson, s. M., & turner, m. G. (2013). Why does land-use history facilitate non-native plant invasion ? A field experiment with *celastrus orbiculatus* in the southern appalachians, 613–626.
- [23] Malavasi, m., carboni, m., & acosta, a. T. R. (2014). Landscape fragmentation , land-use legacy and propagule pressure promote plant invasion on coastal dunes : a patch-based approach.
- [24] Lei nº 12.651. (2012). Novo código florestal. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a medida provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.
- [25] Torres, E. C. (2016). Educação ambiental e geográfica iii: sensibilizações, práticas e caminhos. Pará de minas, MG: virtualbookseditora, 160p.
- [26] Kalshetty, b. M., shobha, n., kalashetti, m. B., & gani, r. (2014). Water quality of river tungabhadra due to the discharge of industrial effluent at harihar , district davanagere , karnataka.
- [27] Glibert, p. M. (2017). Eutrophication , harmful algae and biodiversity — Challenging paradigms in a world of complex nutrient changes. *Marine Pollution Bulletin*, (September 2016), 0–1.
- [28] Esteves, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*. (1998). Ed. 2. Editora: Interciência. Rio de Janeiro.
- [29] Brasil. (2011). Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
- [30] Silva, D.F., Galvêncio, J.D., Almeida, H.R.R.C. (2010). Variabilidade da Qualidade de Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e Atividades Antrópicas Relacionadas. *Qualit@s Revista Eletrônica*, v. 9, n. 3, p. 1-17.
- [31] Souza Filho, H. L.; Alves Santos, R. R. ; Carneiro, W. J. O. (2014). A bioengenharia na estabilização de taludes e encostas naturais da cidade de Salvador - BA. *SEPA. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica*, v. 13, p. 175-193.

# Análise do Potencial de Eutrofização Associado à Operação de uma ETAR Urbana

Mateus Mestriner Pituco  
Escola Superior Agrária  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
mateuspituco@gmail.com

Artur Gonçalves  
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
ajg@ipb.pt

Eduardo Eyng  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
Eduardoeyng@utfpr.edu.br

Manuel Feliciano  
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
msabenco@ipb.pt

**Resumo**— A principal função das ETARs é proporcionar uma redução da carga contaminante das águas residuais, devendo ter por referência indicadores de sustentabilidade ambiental. Neste trabalho, propôs-se aplicar a metodologia de ACV a uma ETAR urbana, tendo por objetivo quantificar o potencial de eutrofização associado à operação da ETAR, incluindo processos a montante e a jusante. O inventário do ciclo de vida teve por base dados referentes a dois anos civis e a unidade funcional utilizada foi de 1 metro cúbico de água residual afluente à ETAR. Os resultados apontam para o descarte das lamas desidratadas no solo (79,87%) e a descarga do efluente no ambiente (19,42%) como os principais impactos associados à fase de operação do sistema de tratamento. Em relação à composição do efluente a presença de azoto e fósforo apresentam um contributo de aproximadamente 90%, sendo o restante 10% resultantes da presença de matéria orgânica carbonácea (CQO). Neste sentido, foi possível compreender os efeitos que apontam para as principais contribuições que necessitam ser levadas em consideração ao analisar o indicador potencial de eutrofização.

**Palavras-Chave**—Avaliação do ciclo de vida; Estação de Tratamento de Águas Residuais; impacto ambiental.

## I. INTRODUÇÃO

A maior parte dos sistemas de tratamento de águas residuais existentes foi planeada para responder apenas a necessidades de saúde pública e preservação dos ecossistemas naturais. Atualmente, com o aumento das preocupações ambientais e o avanço tecnológico, estes sistemas de tratamento devem ser projetados e explorados, tendo por base indicadores mais abrangentes de sustentabilidade ambiental, como otimizar o uso de energia e o consumo de água, reduzir a produção de resíduos sólidos, reduzir as emissões de gases de efeito de estufa, reduzir as emissões ou de precursores de oxidantes fotoquímicos, entre outros.

É neste contexto que surge a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), como metodologia capaz de apoiar a gestão eficiente das operações e dos processos que integram as Estações de

Tratamento de Águas Residuais (ETAR). Diversos são os estudos que abordam a ACV como metodologia para avaliar aspetos relacionados com o tratamento de águas residuais [1] [2] [3] [4].

Os autores [5] realizaram um importante levantamento quanto ao estado da arte da ACV, promovendo uma revisão crítica de artigos considerados relevantes sobre o tema, descrevendo os principais desafios aplicados a ETARs. Em Espanha, Gallego *et al.* [6] avaliaram treze ETARs de baixa dimensão (menor que 20.000 e.p.), a fim de identificar as menos impactantes em termos ambientais. Vidal *et al.* [7] apresenta um estudo de ACV cujo objetivo foi compreender as implicações ambientais resultantes da mudança de tecnologia no tratamento, para cumprir a legislação vigente no que respeita a remoção biológica do azoto. No estudo apresentado por Foley *et al.* [8] compreende-se a ACV aplicada na quantificação e avaliação de inventários para 10 diferentes cenários de tratamento de águas residuais, entre eles a investigação desde a descarga do esgoto bruto para o ambiente até sistemas avançados de remoção de nutrientes, considerando as etapas de construção e operação da ETAR.

Neste trabalho, propôs-se aplicar a metodologia de ACV a uma ETAR urbana localizada no norte de Portugal, com o objetivo de inventariar e quantificar o desempenho ambiental direto e indireto da etapa de operação quanto ao contributo do potencial de eutrofização no ecossistema.

## II. MATERIAL E MÉTODO

### A. Âmbito, Unidade Funcional e Fronteira do Estudo

A aplicação da ACV respeita as abordagens previstas nas normas [9] e [10]. A unidade funcional adotada foi 1 m<sup>3</sup> de água residual afluente à ETAR, também adotada por outros autores (e.g., [3]).

O âmbito deste estudo abrange a avaliação do potencial de eutrofização associado à fase de operação da ETAR, procurando-se desagregar o impacto global por um conjunto de

processos que ocorrem na própria estação de tratamento, mas também a montante e a jusante desta. Além disso, estabeleceu-se uma relação entre o potencial de eutrofização decorrente do funcionamento da ETAR e de uma situação de referência associada à descarga do efluente bruto sem tratamento.

A delimitação da fronteira do sistema (Fig. 1) contempla a fase de operação dos sistemas de tratamento, não considerando as etapas de recolha e drenagem das águas residuais, nem as fases de construção e desmantelamento da ETAR.

O sistema de tratamento integra fundamentalmente três linhas: a líquida, que compreende as etapas de tratamento preliminar, primário (físico-químico) e secundário (biológico - fase anóxica seguida por lamas ativadas e decantação); a linha sólida, na qual as lamas primárias e biológicas são misturadas e encaminhadas para um espessador gravítico, seguindo para digestão anaeróbia e desidratação; e a linha gasosa, em que o biogás produzido na fase sólida é encaminhado para a queima em *flare* e/ou usado na produção de energia térmica, para aquecimento dos digestores, ou para produção de energia elétrica.

O afluente da ETAR apresenta um caudal médio de 5685 m<sup>3</sup>/dia, proveniente de uma população de aproximadamente 42.000 habitantes. O efluente tratado é descarregado num sistema lótico local. A ETAR tem capacidade instalada para cumprir os limites de descarga legais [11] [12] relativos à CQO, CBO<sub>5</sub>, SST e Azoto Total.

As lamas desidratadas, com concentração média de 17% de matéria seca, têm por destino a emissão direta para o solo agrícola. Esta é uma suposição ampla e percebida em estudos como de McNamara *et al.* [13]. Os resíduos originários na etapa do tratamento preliminar (inorgânicos, areias e gorduras) são destinados ao aterro sanitário consorciado na região.

### B. Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O inventário foi elaborado com base em dados/informação, referentes a dois anos civis, providenciados através da empresa responsável pela gestão da ETAR e obtidos por meio de visitas à estação de tratamento. A tabela I mostra os principais inputs e outputs do sistema, expressos em relação à unidade funcional (U.F). Paralelamente, recorreu-se a literatura específica e a modelos matemáticos para suprir as lacunas existentes nos dados primários, como pode ser visualizado na tabela II. A qualidade dos dados é determinante para a confiabilidade dos resultados e, consequentemente, para a significância e a transparência do estudo [13].

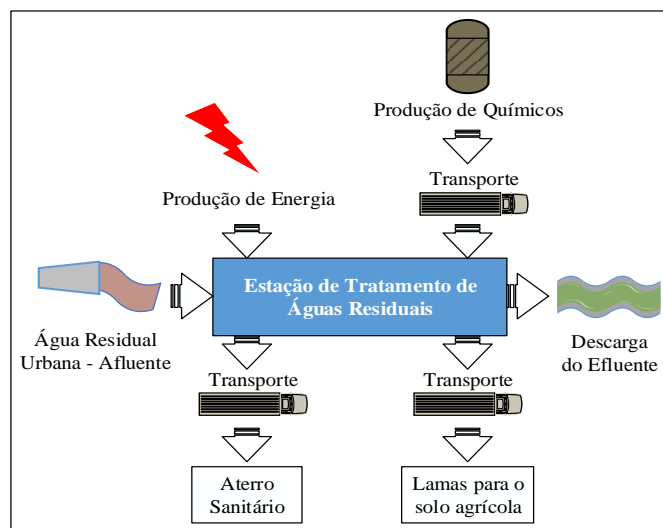


Figura 1. Fronteira do sistema de estudo

Tabela I. Inventário dos dados

Inputs	Unidade	Valor
Eletricidade	kWh/U.F*	0,27
Consumo de Químicos		
Cal hidratada	g/U.F	1,13
Polímero	g/U.F	0,36
Hipoclorito de Sódio	g/U.F	0,25
Composição Afluente		
CQO	g/U.F	547
Azoto total (Nt)	g/U.F	73
Fósforo total (Pt)	g/U.F	9
Outputs	Unidade	Valor
Resíduos inorgânicos, areias e gorduras	g/U.F	60,1
Biogás	m <sup>3</sup> /U.F	3,29E-03
Queima em <i>Flare</i>	%	35,97
Produção de energia térmica	%	64,03
Emissão para a água – Efluente		
CQO	g/U.F	42
Remoção CQO	%	92
Azoto total (Nt)	g/U.F	10
Remoção Nt	%	86
Fósforo total (Pt)	g/U.F	0,5
Remoção Pt	%	94
Emissões para o solo		
Lamas	g/U.F	324,11
Azoto total (Nt)	g/U.F	4,30
Fósforo total (Pt)	g/U.F	8,37
Emissões atmosféricas		
N <sub>2</sub> O	g/U.F	0,57
NO <sub>x</sub>	g/U.F	5,37E-04

\*U.F – Unidade Funcional

Tabela II. Parâmetros para elaboração do inventário

Dados do Inventário	Referência
Caudal afluente/efluente	Medido pela ETAR
CBO, CQO, Nt, Pt, SST e gorduras	Medido pela ETAR
Resíduos inorgânicos e areias	Medido pela ETAR
Volume de lamas desidratadas	Medido pela ETAR
Emissão de gases	Literatura [14] e [15]
Biogás (queima e geração de calor)	Medido pela ETAR
Consumo de eletricidade	Medido pela ETAR
Consumo de produtos químicos	Medido pela ETAR
Produção do mix energético	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>
Produção de químicos	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>
Transporte (camião/diesel)	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>
Aterro sanitário	Base de dados <i>Gabi 6.0</i>

Os processos específicos adotados a partir das bases de dados do *software GaBi 6.0* foram os seguintes:

- Produção do mix energético: adotado a partir do cenário português relacionado a 2012, com 28,08% da eletricidade produzida com a queima de carvão, 22,89% a partir de gás natural, 22,01% da eólica, 14,29% de óleo combustível, 5,36% de biomassa e menores participações com geotérmica, fotovoltaica, hidroelétrica, resíduos e biogás.
- Produção de químicos: a principal adição de químicos está ligada ao processo de desidratação das lamas com o uso do polímero floculante poliacrilamida catiónico. Por não apresentar processos de caracterização deste polímero nas bases de dados, adicionou-se ao modelo a produção da acrilonitrila por ter elevada influência na fabricação da poliacrilamida [16]. Para o controle do pH na digestão das lamas é adicionado hidróxido de cálcio. No controle de filamentosas é adicionado hipoclorito de sódio, em que no modelo adaptou-se para a produção de cloro.
- Transporte, combustível e disposição dos resíduos: a distância da produção de químicos até à ETAR (aproximadamente 250 km), bem como, da ETAR ao aterro sanitário (cerca de 70 km) e ao destino das lamas para a agricultura (adotado 25 km) foram inseridos no processo de transporte (capacidade de 3,3 ton. de carga útil). Adotou-se o refinamento do diesel tendo por referência a União Europeia. Os resíduos inorgânicos coletados na fase preliminar, junto com as areias e gorduras, são destinados ao aterro sanitário adotado no modelo com referência também à União Europeia.

#### C. Avaliação do Impacte do ciclo de Vida (AICV)

A elaboração do modelo e a avaliação dos impactos foram gerados na ferramenta computacional *GaBi 6.0*, desenvolvido pela PE INTERNACIONAL, atual Thinkstep [17].

Esta etapa tem como característica analisar os dados por uma perspetiva ambiental, através de categorias de impacte constituídas pela classificação e caracterização do ICV quanto ao potencial impacte no ambiente.

O método *CML 2001* (versão janeiro/2016) desenvolvida na Universidade de Leiden [18] contempla uma ampla lista de categorias, de tal maneira que, para a avaliação deste estudo foi utilizada a categoria *Potencial de Eutrofização (EP)*, motivada pela carga de nutrientes que compõe o efluente urbano e a influência direta que os sistemas de tratamento oferecem para a redução destes. Os autores Hellström *et al.* [19] destacam a eutrofização como um critério ambiental prioritário para avaliar a gestão sustentável das águas urbanas.

O *Potencial de Eutrofização (EP)* abrange os impactos relacionados com os níveis de macronutrientes como o azoto (N) e o fósforo (P) no ambiente [18]. Em meio aquático e terrestre o aumento de nutrientes favorece a multiplicação de microrganismos e elevada produção de biomassa, tal que em meio aquático impede a passagem da luz consequentemente decaindo a quantidade de oxigénio dissolvido pela

decomposição da biomassa (medida em CBO), causando forte impacte na diversidade local [18] [1]. Em solos eutrofizados, há uma maior susceptibilidade das plantas para doenças e pragas, além de que, se o nível de nutrientes exceder a quantidade de azoto necessário para a planta poderá ocorrer enriquecimento de nitrato no solo e, através da lixiviação, aumentar o teor destes nas águas subterrâneas [20].

O Potencial de Eutrofização é avaliado em kg de fosfato-equivalente.

### III. RESULTADOS

A contribuição da categoria de impacte associado à fase de operação do sistema de tratamento das águas residuais, assim como à situação que representa a descarga direta da água residual sem tratamento pode ser visualizado na tabela III, desagregado pelos vários processos que contribuem para viabilizar o tratamento das águas residuais produzidas no ambiente urbano.

O Potencial de Eutrofização está diretamente ligado ao descarte das lamas desidratadas no solo (79,87%) e a composição do efluente a ser descarregado no ambiente (19,42%). Resultados similares foram também obtidos noutros estudos (e.g [13]).

Tabela III. Contribuição da categoria de impacte por unidade funcional

Processos	Pot. de Eutrofização (kg fosfato-equiv.)	
	Com fase operacional	Sem fase operacional
Produção de químicos	7,0E-07	-
Produção de energia	3,3E-05	-
Transporte	Químicos	1,2E-07
	Lamas	2,2E-06
	Resíduos	1,1E-06
Emissões atmosféricas ETAR	1,5E-04	-
Lamas para o solo	0,027	-
Descarga do Efluente	0,0066	0,0702
Aterro Sanitário	5,09E-05	-
<b>Total</b>	<b>0,0342</b>	<b>0,0702</b>

Em relação ao impacte que potencialmente pode advir do uso das lamas em solos agrícolas, o resultado é justificado pelo alto teor de azoto e fósforo presente nas mesmas e não ter sido considerado uma relação como produto evitado a nível de fertilização mineral, como reporta Renou *et al.* [21]. Estes autores referem que, quando as lamas são recicladas em solos agrícolas, os fertilizantes minerais são muitas vezes substituídos pelos benefícios da lama. Contudo, consideram que as lamas não apresentam o mesmo efeito agrícola, devido não serem aplicadas na mesma etapa que o fertilizante mineral. O Pasqualino *et al.* [3] compararam cinco diferentes cenários quanto a alternativas de disposição das lamas, a fim

de verificar a redução quanto ao impacto de eutrofização, em que tais alternativas viabilizam a redução ou impedem a acumulação de nutrientes no solo.

As emissões de gases ocasionadas pelo sistema de tratamento são referidas como a contribuição por emissão para a atmosfera de  $N_2O$  e óxido de azoto previsto nos sistemas biológico e queima do biogás em *flare*, respetivamente. O Potencial de Eutrofização global resulta num valor de a 0,0342 kg  $PO_4^{3-}$  equivalente por metro cúbico de água residual, aproximadamente 49% do que resulta do lançamento do efluente bruto no meio recetor sem qualquer tipo de tratamento (0,0702 kg  $PO_4^{3-}$  por metro cúbico de água residual).

A emissão de quatro substâncias para o ambiente é identificada como as principais responsáveis pelo impacto quanto à descarga do efluente no meio recetor. A Fig. 2 apresenta a contribuição das substâncias presentes na descarga do efluente.

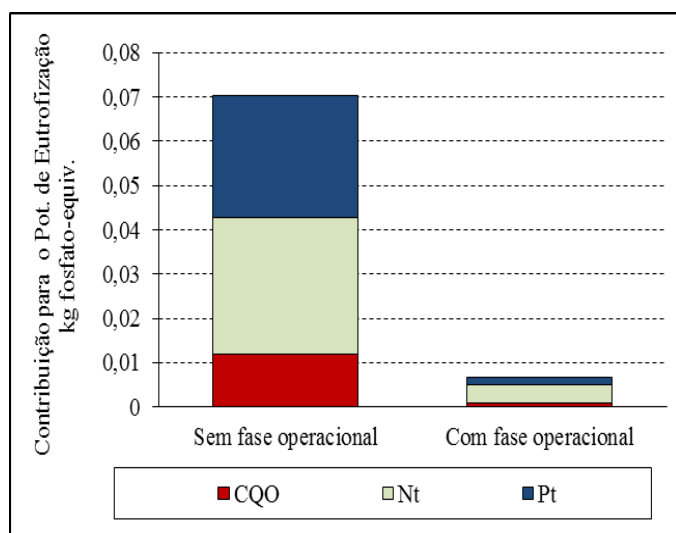


Fig 2. Contribuição da descarga do efluente não tratado e tratado para o potencial de eutrofização, com indicação da contribuição isolada da CQO, Azoto total (Nt) e Fósforo Total (Pt).

As contribuições relativas das descargas de azoto total (Nt), fósforo total (Pt) e a carga orgânica (como compensação química de oxigénio - CQO) são comparadas para o efluente tratado e para o efluente bruto. A contribuição de Nt e Pt, em conjunto, é de aproximadamente 83% para o efluente bruto e de cerca de 86% para o efluente tratado, sendo estas contribuições também maior representativa na avaliação de quatro estações estudadas por Hospido *et al.* [22]. No global, o efluente bruto descarregado diretamente no meio recetor apresenta um Potencial de Eutrofização 90% superior ao que resulta do lançamento do efluente tratado.

#### IV. CONCLUSÃO

Apesar deste estudo se ter centrado apenas num dos indicadores de impacto da ACV, demonstrou parte da

relevância do tratamento de águas residuais face à opção de não tratar. A estrutura da ETAR assim como a gestão eficiente dos recursos, dos processos de tratamento e da gestão de resíduos é também determinante para a melhoria da sustentabilidade ambiental destes sistemas.

Em especial neste estudo, a fronteira do sistema não contemplou as características locais ou regionais do ambiente hídrico recetor da descarga do efluente bruto e tratado, como por exemplo, não se consideraram parâmetros quantitativos do rio nem parâmetros de qualidade do mesmo a montante do ponto de descarga, as condições de diluição das águas, a decomposição aeróbia, entre outros elementos. Quanto às lamas, incluir na fronteira do estudo diferentes processos que visem destinos diferentes torna-se relevante, uma vez que utilização no solo agrícola confere o principal potencial impacto analisado. Integrar estas análises em futuras avaliações pode ser considerado merecedor de atenção ao buscar um resultado ainda mais atraente e satisfatório com a realidade em que esta estação de tratamento está inserida.

Diante das abordagens efetuadas é possível compreender os resultados que apontam para a composição do efluente descarregado no meio recetor e o uso das lamas em solo agrícola, como sendo os processos determinantes do desempenho das ETARs em termos de Potencial de Eutrofização.

Neste sentido, a ACV é oferecida como uma ferramenta atrativa para a sustentabilidade ambiental de sistemas de tratamento de águas residuais, ao identificar os principais impactos ligados aos processos, tornando-a numa metodologia capaz de oferecer orientações à equipa gestora em processos de tomada de decisão conducentes à implementação de novas tecnologias de tratamento de águas residuais e de tratamento e disposição de lamas.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e a FEDER no âmbito do Programa PT2020 pelo suporte financeiro ao CIMO (UID/AGR/ 00690/2013). Um agradecimento muito especial à empresa Águas do Norte, s.a. através da coordenadora de exploração e equipa técnica da ETAR de estudo, pela informação primária disponibilizada e por todos os esclarecimentos prestados.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Gutierrez, “Análise e Gerenciamento de Impactos Ambientais no Tratamento de Esgoto Doméstico Mediante Avaliação de Ciclo de Vida,” Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- [2] A. Hospido, M. T. Moreira, M. Fernández-Couto, and G. Feijoo, “Environmental performance of a municipal wastewater treatment plant,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 9, no. 4, pp. 261–271, 2004.
- [3] J. C. Pasqualino, M. Meneses, M. Abella, and F. Castells, “LCA as a decision support tool for the environmental improvement of the operation of a municipal wastewater treatment plant,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 9, pp. 3300–3307, 2009.
- [4] A.-M. Tillman, M. Svingby, and H. Lundström, “Life cycle assessment of municipal waste water systems,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 3, no. 3, pp. 145–157, 1998.
- [5] L. Corominas *et al.*, “Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art,” *Water Res.*, vol. 47, no. 15, pp. 5480–5492, 2013.
- [6] A. Gallego, A. Hospido, M. T. Moreira, and G. Feijoo, “Environmental performance of wastewater treatment plants for small populations,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 52, no. 6, pp. 931–940, 2008.
- [7] N. Vidal, M. Poch, E. Marti, and I. Rodriguez-Roda, “Evaluation of the environmental implications to include structural changes in a wastewater treatment plant,” *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 77, no. 11, pp. 1206–1211, 2002.
- [8] J. Foley, D. de Haas, K. Hartley, and P. Lant, “Comprehensive life cycle inventories of alternative wastewater treatment systems,” *Water Res.*, vol. 44, no. 5, pp. 1654–1666, 2010.
- [9] NP EN ISO 14040, *Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Enquadramento (ISO 1440:2006)*, vol. 2006. 2008, pp. 1–29.
- [10] ISO 14044, *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines (ISO 14044:2006)*. 2006, pp. 1–46.
- [11] Ministério do Ambiente, *Decreto Lei n.º 152/97, de 19 de junho*. 1997.
- [12] Ministério do Ambiente, *Decreto Lei n.º 236/98*, vol. 176. 1998, pp. 3676–3722.
- [13] G. Mcnamara *et al.*, “Life Cycle Assessment of Waste Water Treatment Plants in Ireland,” *South East Eur. Conf. Sustain. Dev. Energy, Water Environ. Syst.*, no. May 1991, 2014.
- [14] U.S. Environmental Protection Agency, “Greenhouse Gas Emissions Estimation Methodologies for Biogenic Emissions from Selected Source Categories: Solid Waste Disposal Wastewater Treatment Ethanol Fermentation,” 2010.
- [15] Environment and Climate Change Canada, “Emission Estimation Calculators - Biogas Flaring,” 2009.
- [16] A. Hospido, T. Moreira, M. Martín, M. Rigola, and G. Feijoo, “Environmental evaluation of different treatment processes for sludge from urban wastewater treatments: anaerobic digestion versus thermal processes,” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 10, no. 5, pp. 336–345, 2005.
- [17] “GaBi Software,” 2017. [Online]. Available: <http://www.gabi-software.com/international/software/gabi-software/>.
- [18] J. Guinée, *Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards*. 2004.
- [19] D. Hellström, U. Jeppsson, and E. Kärrman, “A framework for systems analysis of sustainable urban water management,” *Environ. Impact Assess. Rev.*, vol. 20, no. 3, pp. 311–321, 2000.
- [20] T. Kupfer *et al.*, “GaBi Database & Modelling Principles,” 2017.
- [21] S. Renou, J. S. Thomas, E. Aoustin, and M. N. Pons, “Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA,” *J. Clean. Prod.*, vol. 16, no. 10, pp. 1098–1105, 2008.
- [22] A. Hospido, M. T. Moreira, and G. Feijoo, “A comparison of municipal wastewater treatment plants for big centres of population in Galicia (Spain),” *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 13, no. 1, pp. 57–64, 2008.





# ***Destinação adequada de tambores metálicos usados no Brasil – Uma análise Econômica***

Leonardo Marques Alvarenga  
Bárbara Matheus Rizzuti  
Patrícia Pedrotti de Aquino Almeida  
Ricardo César da Silva Guabiroba  
Ilton Curty Leal Junior  
Departamento de Administração  
Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda, Brasil

**Abstract** — Em 2012, foi estabelecido no Brasil um acordo, envolvendo o setor de distribuição de lubrificantes, firmado para destinação de embalagens plásticas de óleo lubrificante. Isto motivou este estudo para auxiliar futuro acordo de destinação de embalagens metálicas, incluindo tambores usados de 200 litros. Neste contexto, este artigo tem como objetivo realizar uma análise econômica do processo de recolhimento desses tambores sob o ponto de vista dos atacadistas de sucata e das empresas recuperadoras. Neste estudo, apuraram-se custos e receitas relacionados a duas alternativas de destinação: recuperação e reciclagem. Foi possível concluir a análise econômica considerando essas duas alternativas para cada estado brasileiro. Como resultado, constatou-se que os custos superam as receitas em ambas as alternativas nos estados do Amapá, Roraima, Amazonas, Acre e Rondônia.

**Keywords** — *transporte; tambores metálicos usados; reciclagem; Política Nacional de Resíduos Sólidos.*

## I. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos são definidos como materiais, objetos, substâncias ou bens descartados no estado sólido, resultantes de atividades humanas em sociedade [1]. Assim sendo, a essa geração sofre a influência de fatores econômicos, comportamentais e populacionais, relativos ao crescimento da população e sua concentração em áreas urbanas [2]. Essa geração até a destinação final deve ser gerenciada. Se essa gestão não for adequada, o resultado são impactos negativos, como gastos desnecessários, danos ao meio ambiente, à saúde e ao bem estar da população.

Assim, estudos sobre a gestão de resíduos sólidos têm evoluído, conduzindo a processos mais eficientes para a gestão desses rejeitos. Em 02 de Agosto de 2010, foi sancionada no Brasil a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS prevê a redução da geração e a adoção de métodos de processamento, como reaproveitamento ou reciclagem. Deve ser dada ainda destinação ambientalmente adequada aos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

De acordo com [3], para as indústrias, o tratamento e a disposição final do lixo em muitas situações, seria inviável, sob o ponto de vista econômico, se fossem realizadas

individualmente. Sob esta premissa, devem-se estabelecer acordos setoriais para implementar a logística reversa de determinadas embalagens, como o acordo setorial firmado em 2012 entre o poder público, fabricantes e distribuidores de lubrificantes, com o objetivo de recolher as embalagens plásticas usadas e contaminadas, retornando-as a cadeia produtiva por meio de recuperação ou de reciclagem.

Neste sentido, o presente artigo tem por objetivo apresentar uma análise econômica relativa aos processos de recuperação e de reciclagem de tambores metálicos de 200 litros, usados como embalagens de lubrificantes industriais. Essa análise limita-se a determinação de custos e de receitas decorrentes desses processos, pelo ponto de vista da empresa recuperadora de tambores (realiza o processo de recuperação) e do grande comerciante de sucata (intermediário no processo de reciclagem).

Neste estudo, pressupõe-se e destaca-se a existência de elevados custos logísticos que superam as receitas provenientes da venda dos tambores metálicos usados em estados da região Norte, Nordeste e Centro-Oeste, onde os pontos de processamento são afastados dos pontos de geração desses tambores usados. Isto seria um impeditivo para a adoção dos processos de recuperação e de reciclagem nessas regiões. No entanto, a tendência é a busca e o encontro de soluções para locais onde os custos superam as receitas. Segundo a [4], 99 milhões de unidades de embalagens usadas de óleo lubrificante foram destinadas adequadamente em 2015 no Brasil (crescimento de 24% em relação a 2014).

Assim sendo, de modo a alcançar o objetivo proposto, o presente artigo apresenta, em seu Item 2, a conceituação dos resíduos e de sua gestão. Em seu Item 3, apresenta o acordo setorial para destinação de embalagens plásticas de óleos lubrificantes. Já o Item 4 apresenta os conceitos de recuperação e de reciclagem adotados neste estudo. Em seu Item 5, é apresentado o procedimento de análise. Em sequência, apresenta-se o desenvolvimento e a análise econômica e, por último, apresentam-se as considerações finais.

## II. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com [5], o gerenciamento de resíduos sólidos é definido como: “conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada, de acordo com plano municipal de gestão integrada ou com plano de gerenciamento, exigidos na forma desta Lei”.

A gestão integrada é definida como um conjunto de ações voltadas à busca de soluções para o problema do lixo, considerando as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável [5].

Na indústria, a gestão sucatas e rejeitos implica no seu gerenciamento “do berço ao túmulo”. O Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL), ligado ao SENAI propõe um programa de gestão com as seguintes etapas: treinamento de pessoal, identificação e seleção, caracterização e classificação, quantificação e periodicidade, manuseio, segregação, acondicionamento, armazenamento e transporte [6].

No caso da destinação de tambores metálicos usados, verifica-se que o ferro é 100% reciclável. Essa capacidade de retorno permanente à cadeia produtiva como matéria-prima, sem perder a qualidade, faz dele um dos materiais mais reciclados do mundo. Os benefícios ambientais relacionados à reciclagem incluem a redução do uso de matérias-primas não renováveis e redução das emissões de gases de efeito estufa. Segundo informa [7], há também um impacto social positivo, devido à geração de empregos na coleta e no processamento da sucata.

## III. ACORDO SETORIAL PARA A DESTINAÇÃO DE EMBALAGENS

Em 19 de Dezembro de 2012, foi firmado um Acordo Setorial referente especificamente à Logística Reversa de Embalagens Plásticas Usadas de Óleos Lubrificantes, o qual estabelece que os fabricantes, importadores, comerciantes atacistas e comerciantes varejistas de óleo lubrificante devem estabelecer um sistema de logística reversa. A partir desse acordo, foi criado o programa Jogue limpo, sistema de logística reversa estruturado e disponibilizado pelos fabricantes, importadores e distribuidores de lubrificantes, composto de pontos de recebimento, centrais de recebimento e unidades de recebimento itinerante. Nas centrais de recebimento, as embalagens plásticas recebem tratamento inicial, possibilitando seu encaminhamento para as empresas recicladoras licenciadas [8]. Esse programa não contempla as embalagens e recipientes metálicos, dentre outros materiais que venham a entrar em contato com óleos lubrificantes.

No entanto, outros acordos são previstos com o objetivo de incluir outros tipos de embalagens como os tambores metálicos, objeto do presente estudo. Esses tambores usados são gerados em grande quantidade no Brasil, onde a produção de lubrificantes industriais superou o volume de 300 milhões de litros em 2015 [9]. Esse volume representa a geração de cerca de 18.000 toneladas de resíduos (embalagens metálicas). Estes deveriam ser adequadamente recolhidos e destinados corretamente, conforme prevê a PNRS.

Assim sendo, deve-se propor um plano de gerenciamento de tambores metálicos usados de óleos lubrificantes industriais. Uma das alternativas seria destinar os tambores usados para a recuperação, processo que o retira da condição de resíduo para novamente uma embalagem.

Outra alternativa seria comercializar os tambores usados como sucata de aço para indústrias siderúrgicas que funcionam como plantas de reciclagem. Segundo [7], em 2014 no Brasil, cerca de 30% de todo o aço produzido foi proveniente de reciclagem. Qualquer que seja a origem da sucata, o ciclo de reciclagem do aço produz aços novos que podem ser utilizados em qualquer das suas finalidades. A produção de aço bruto no mesmo período foi de 33,9 milhões de toneladas, levando o Brasil a ocupar a 9ª posição no ranking da produção mundial.

Segundo [10], dos 5.562 estabelecimentos de comércio de resíduos e sucatas registrados no Brasil no ano de 2012, 79% são considerados de pequeno porte, com até 19 empregados formais. Todos os estados do Brasil possuem empresas de médio ou de grande porte instaladas em seu território, com estrutura para processar e comercializar a sucata de aço.

## IV. CONCEITO DE RECICLAGEM E DE RECUPERAÇÃO

De acordo com [5], a reciclagem é definida como o processo de transformação dos resíduos em que há a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Esse conceito será adotado neste estudo como alternativa de destinação dos tambores usados, sob a designação “reciclagem”.

Já a reutilização, um dos objetivos da PNRS, é definida como o processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química [5]. Esse conceito será adotado neste trabalho como alternativa de destinação dos tambores usados, sob a designação “recuperação”.

Segundo [11], os tambores usados são recolhidos nos diversos pontos de geração, já drenados, pelos pequenos estabelecimentos de comércio de sucata. Em seguida, esses tambores são entregues aos estabelecimentos de médio/grande porte dotados de estrutura para prensagem do tambor. Depois de prensado em fardos, esses tambores são vendidos para as usinas siderúrgicas. A área de atuação do grande comerciante de sucata, o qual está referido o estudo econômico da alternativa, compreende as etapas de aquisição do tambor usado junto às empresas de pequeno porte, a etapa de prensagem dos tambores em fardos e encerra-se na venda dos fardos para usinas siderúrgicas.

Para o processo de recuperação, são coletados apenas tambores metálicos usados em condições de recuperação. Segundo [12] e [13], após a coleta e o transporte dos tambores para os pontos de destino de recuperação, efetua-se o escoamento dos resíduos de lubrificantes, para na sequência efetuar-se o recondicionamento do corpo do tambor. Em seguida, procede-se a lavagem e a limpeza com solventes reativos, secagem do tambor por ventilação forçada, e remoção de etiquetas e adesivos por meio de processo de escovação. A

etapa seguinte compreende o processo de pintura e, finalmente, o processo de impressão da logomarca do recuperador.

#### V. PROCEDIMENTO PARA A ANÁLISE ECONÔMICA

O procedimento a ser utilizado para realizar a análise econômica a respeito da destinação dos tambores metálicos usados seguirá seis etapas, a saber: (1) Definir a localização dos pontos de origem e dos pontos de destino; (2) Definir as distâncias entre os pontos de origem e os pontos de destino; (3) Definir a quantidade a ser transportada de tambores metálicos usados; (4) Definir os custos e receitas; (5) Elaborar planilha de análise econômica e (6) Analisar os resultados.

Na primeira etapa do procedimento, define-se a localização dos pontos de origem e dos pontos de destino dos tambores metálicos usados. Os pontos de origem referem-se aos pontos de geração do tambor usado e os pontos de destino são pontos de reciclagem ou de recuperação. Na etapa seguinte, deve-se definir as distâncias entre os pontos de origem e os pontos de destino do objeto em estudo. Poderão ser utilizadas distâncias reais ou distâncias Euclidianas.

Na terceira etapa, define-se a quantidade de tambores metálicos usados que deverá ser transportada entre os pontos de origem e de destino. Consultas a anuários estatísticos do setor e entrevistas com fabricantes e fornecedores de óleo lubrificante poderão ser utilizados nesta etapa. Em sequência, na quarta etapa, deve-se definir os custos e receitas unitários envolvidos nos processos de reciclagem e recuperação do tambor usado. Nesta etapa, poderão ser efetuadas consultas a relatórios técnicos dos setores envolvidos e entrevistas com recuperadores, recicladores e transportadores.

Após a apuração dos parâmetros, planilhas com receitas e despesas devem ser elaboradas, consolidando todos os dados, de modo a gerar resultado que propicie análise econômica dos processos alternativos de destinação do resíduo em questão. Na última etapa, faz-se necessário analisar os resultados encontrados, sendo possível determinar quais fluxos apresentam receitas inferiores às despesas (fluxos financeiramente inviáveis). Para a implementação destes fluxos, provavelmente será necessário financiamento proveniente de empresas envolvidas com a utilização dos tambores metálicos.

#### VI. APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO

Neste tópico, apresenta-se as etapas de aplicação do procedimento para a análise econômica do transporte e tratamento dos tambores usados. Será detalhada cada etapa acerca do método aplicado e premissas adotadas, assim como a análise dos resultados encontrados.

##### A. Etapa 1 - Definição da localização dos pontos de origem e dos pontos de destino

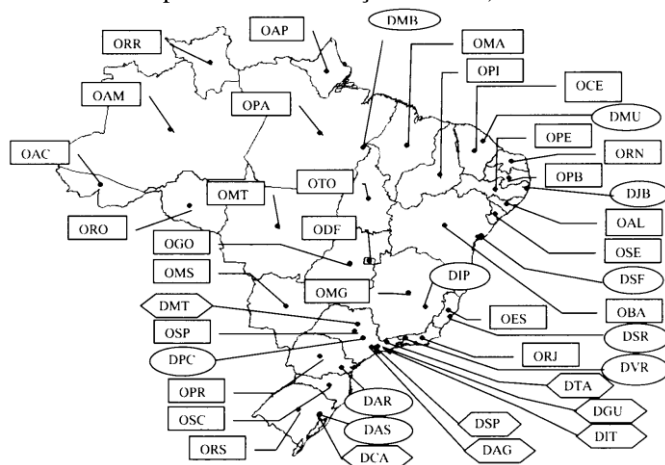
Nesta etapa, foram consideradas as vendas realizadas apenas pelas distribuidoras (BR, Cosan, Ipiranga, Shell, Chevron, Petronas, Castrol, Total e YPF) associadas ao SINDICON (Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes) em razão da distribuição

do mercado nacional de lubrificantes: juntas estas empresas representaram 84,5% do mercado no ano de 2015 [9].

Após determinado o grupo de distribuidoras a ser pesquisado, foram apuradas as Unidades da Federação (UF) clientes destas distribuidoras. Foi estabelecido o centro geográfico de cada estado cliente como ponto de origem dos tambores usados, em razão da indisponibilidade de informações e grande número de destinos exatos dos produtos vendidos em cada estado.

Os pontos de destino dos tambores usados podem ser de recuperação e de reciclagem. Para a definição dos pontos de destino para recuperação efetuou-se levantamento, identificando as empresas recuperadoras no mercado, sendo selecionadas as empresas: Mauser, L2Pack, Tamborline, Tambortec, Cotam, Petrosol e Dutra Tambores, sendo as cinco últimas associadas à ABREIND (Associação Brasileira dos Recondicionadores de Embalagens Industriais). Essas empresas possuem unidades instaladas nas cidades de Matão (SP), Taubaté (SP), São Paulo (SP), Araçariguama (SP), Guarulhos (SP), Itaquaquecetuba (SP) e Canoas (RS). Essas cidades foram determinadas como destinos para a alternativa recuperação. Fig. 1 apresenta a localização dos pontos de origem e dos pontos de destino.

Para a definição dos pontos de destino para reciclagem, considerou-se a recomendação do Programa Jogue Limpo: a Logística Reversa dos tambores e baldes metálicos deverá ser realizada pela indústria especializada na recuperação dessas embalagens. Na impossibilidade de reuso, proceder ao envio para a indústria siderúrgica onde ocorrerá o processo de reciclagem [8]. Sendo assim, foi possível relacionar as usinas siderúrgicas associadas ao Instituto Aço Brasil (entidade de classe mantida pela indústria do aço no Brasil).



Legenda: OAP- origem Amapá, ORR- origem Roraima, OMA- origem Acre, ORO- origem Rondônia, OPA- origem Pará, OTO- origem Tocantins, OPI- origem Piauí, OCE- origem Ceará, ORN- origem Rio Grande do Norte, OPB- origem Paraíba, OPE- origem Pernambuco, OAL- origem Alagoas, OSE- origem Sergipe, OMT- origem Mato Grosso, OGO- origem Goiás, ODF- origem Distrito Federal, OMS- origem Mato Grosso do Sul, OMG- origem Minas Gerais, ORJ- origem Rio de Janeiro, OES- origem Espírito Santo, OSP- origem São Paulo, OPR- origem Paraná, OSC- origem Santa Catarina, ORS- origem Rio Grande do Sul, DMT- destino Matão, DTA- destino Taubaté, DCA- destino Canoas, DMB- destino Marabá, DMU- destino Maracaná, DJB- destino Jaboatão dos Guararapes, DSF- destino Simões Filho, DPC- destino Piracicaba, DIP- destino Ipatinga, DVR- destino Volta Redonda, DSR- destino Serra, DAR- destino Araucária, DAS- destino Sapucaia do Sul, DAG- destino Araçariguama, DIT- destino Itaquaquecetuba, DSP- destino São Paulo, DGU- destino Guarulhos. Obs.: - origens dos tambores usados, - destinos de reciclagem, - destinos de recuperação.

Fig. 1. Pontos de origem e pontos de destino dos tambores metálicos usados.

Do total, selecionou-se 11 usinas pelos critérios: (1) operacional (consumidoras de sucata metálica em processo de aciaria) e (2) geográfico (de modo que estejam distribuídas em todo o território nacional). As usinas siderúrgicas selecionadas estão localizadas nas seguintes cidades (pontos de destino): Marabá (PA), Maracanaú (CE), Jaboatão dos Guararapes (PB), Simões Filho (BA), Serra (ES), Ipatinga (MG), Volta Redonda (RJ), Cubatão (SP), Piracicaba (SP), Sapucaia do Sul (RS) e Araucária (PR).

## B. Etapa 2 - Definição das distâncias entre os pontos de origem e os pontos de destino

Nesta etapa, foi utilizado o *software* TransCAD SIG (Sistema de Informações Geográficas), como ferramenta utilizada para definição das distâncias entre os pontos de origem e os pontos de destino. A partir das coordenadas estabelecidas, o *software* gerou uma matriz de distâncias euclidianas. Essas distâncias foram utilizadas para os cálculos dos custos de transporte.

## C. Etapa 3 - Definição da quantidade a ser transportada de tambores metálicos usados

Com base nos dados disponíveis para consulta no Relatório de Vendas [14], apurou-se o volume de vendas para cada estado cliente em 2015. Como os dados disponibilizados pelo SINDICOM encontram-se sintetizados pelo segmento óleo lubrificante, foi considerado um fator de divisão de mercado apurado em 25,2% para a parcela do grupo óleo lubrificante industrial no ano de 2015 [9].

Segundo [9], foram comercializadas no ano de 2015 aproximadamente 301 milhões de litros de óleo lubrificante industrial no Brasil. De acordo com catálogo de produtos [15], este produto está disponível em embalagens de 3, 20, 200 e 1000 litros. No caso de considerar-se a comercialização de todo este volume de óleo em um único modelo de embalagem, no caso o tambor metálico de 200 litros, seriam necessários aproximadamente 1.505.000 tambores. Em razão da falta de informações quanto à distribuição das vendas por modelo de embalagem, faz-se necessário adotar cenários de mercado para a realização do estudo. Sendo assim, consideram-se os percentuais de 10%, 20%, 30%, 40% e 50% do total de tambores necessários para acondicionar o volume de óleo comercializado no ano de 2015.

## D. Etapa 4 - Definição dos custos e de receitas

Para efetuar o transporte, será utilizado o modo rodoviário, pela existência de infraestrutura e por esse modo ser mais flexível. Segundo [16], o transporte rodoviário propicia a movimentação da carga dos pontos de origem diretamente aos pontos de destino sem necessidade de transferência de modalidade. O modo rodoviário consome menos tempo e é o recomendado para cargas de pequena e média demanda.

Neste sentido, considera-se a utilização do veículo com reboque tipo caçamba, com capacidade máxima de 25 toneladas por viagem para efetuar o transporte do tambor usado para a reciclagem, após processamento [17]. Para a alternativa de recuperação, o transporte será realizado por

veículo com reboque específico e apropriado para tambores, com capacidade para 500 unidades, segundo informa [18].

### 1) Custos de recuperação

Das sete empresas recuperadoras selecionadas para o estudo somente cinco atenderam aos pedidos para entrevista (L2Pack, Tamborline, Tambortec, Petrosol e Cotam). As informações da Tabela I foram obtidas com as referidas empresas. Ressalta-se que estão excluídos dos valores informados, impostos incidentes na compra e venda dos tambores.

Assim, foi possível calcular os valores médios de compra dos tambores metálicos usados, de venda do tambor recuperado e de recuperação do tambor. Esses valores médios serão adotados para cálculo dos custos e receitas de cada fluxo definido a partir da determinação dos pontos de origem e dos pontos de destino de recuperação. Em especial, o valor do transporte (frete) foi obtido a partir de orçamentos de coleta em alguns pontos de origem para o destino Itaquaquecetuba, chegando ao valor médio por quilômetro de R\$6,18.

TABELA I: CUSTOS E RECEITAS DA RECUPERAÇÃO DE TAMBORES USADOS DO TIPO TAMPA FIXA

Custos/Receitas	L2Pack	Tamborline	Tambortec	Petrosol	Cotam	Valor Médio
Compra*	8,00	14,00	5,00	(-)	(-)	9,00
Venda*	58,00	53,00	50,00	(-)	53,00	53,50
Recuperação*	(-)	20,00	35,00	(-)	(-)	27,50
Frete de coleta**	(-)	(-)	(-)	6,18	(-)	6,18

\* em R\$/unidade; \*\* em R\$/km; (-) não informado.  
Fonte: [12], [13], [18], [19] e [20].

### 2) Custos de reciclagem

A estrutura de custos da cadeia de reciclagem foi elaborada sob o ponto de vista das empresas de comércio atacadista (médio e grande porte) de sucata, com capacidade de processar os tambores usados. Essas empresas compram a sucata dos diversos pontos de geração, processam e revendem para empresas recicladoras de ferro e aço (indústrias siderúrgicas). Considera-se para esse estudo o tambor metálico com 12 kg de massa [21].

Foram pesquisadas empresas atuantes no comércio, consumo e transporte de sucatas: Trufer (unidade Barra Mansa), Prensa Volta Redonda, Gerdau (unidade Pindamonhangaba) e Transporte Excelsior (Volta Redonda).

É desconsiderado para este estudo, qualquer custo ou despesa com limpeza dos tambores usados para a alternativa de reciclagem. Assim sendo, considera-se que os usuários dos óleos lubrificantes disponibilizem para a coleta apenas os tambores drenados.

Neste sentido, considera-se ainda que os tambores usados devam ser prensados em fardos por empresas atacadistas, antes de serem destinados às indústrias de reciclagem (siderúrgicas). Assim, gerando um custo referente ao processamento, apurado em R\$ 30,00 por tonelada prensada. O equipamento utilizado como referência foi uma prensa enfardadeira com capacidade de prensagem de 150 kg por ciclo, produção de 4.500 kg por hora (Portela, 2016).

O preço de compra do tambor/sucata refere-se ao valor pago aos pequenos estabelecimentos, que são responsáveis

pelo recolhimento da sucata pulverizada no mercado. Apurou-se o valor médio de R\$ 0,29 por kg. Nos estabelecimentos de maior porte, a sucata após ser processada (prensada), será destinada às usinas siderúrgicas, pelo preço médio de venda apurado em R\$ 0,46 por kg. Esse preço acaba sendo definido pela força da indústria siderúrgica, altamente concentrada e verticalizada, impondo, ao produto, preço inferior ao praticado no mercado internacional [22].

Para apuração do custo com o transporte da sucata, realizou-se cotações de frete de três rotas praticadas por uma empresa transportadora localizada na cidade de Volta Redonda (Transporte Excelsior) e outras três rotas de transferência de sucata entre unidades da empresa Gerdau. A partir da obtenção dos preços por tonelada transportada, praticados pelas empresas, calculou-se uma média chegando ao custo de R\$0,20 por quilômetro da tonelada transportada.

#### E. Etapa 5 - Elaboração da planilha de análise

Após apuração de todos os dados previstos nas Etapas 1 a 4, determinou-se o resultado (lucro) das duas alternativas de destinação dos tambores usados (recuperação e reciclagem). O método para apuração do resultado inicialmente compreende encontrar o custo total do transporte do ponto de origem ao ponto de destino.

Para a alternativa de reciclagem, considera-se o transporte da massa total de resíduos em forma de sucata, considerando o frete sempre com carga cheia, em razão do resíduo (tambores prensados) poder ser transportado juntamente com sucata gerada por outras fontes. Assim sendo, mesmo que a origem em determinado cenário não tenha gerado a capacidade máxima do veículo, não haverá alteração do custo de transporte por unidade.

Para a alternativa de recuperação, como o veículo é específico para o transporte de tambores, considera-se o número mínimo de viagens para transportar as quantidades geradas em cada cenário de mercado simulado. Neste sentido, admitem-se viagens com carga incompleta. Para efeito do cálculo total de transporte, considera-se o número de viagens e não somente a quantidade de tambores usados.

Após conhecidos os custos unitários de transporte, somam-se a eles: os custos unitários de compra e processamento da sucata, ambos para a alternativa de reciclagem; e os custos unitários de aquisição do tambor usado e de recuperação do tambor, para a alternativa recuperação. Assim é possível chegar aos custos totais de cada alternativa de destinação dos tambores usados. O resultado obtém-se ao deduzir o custo total da receita de venda.

#### F. Etapa 6 - Análise dos resultados encontrados

Considerando todos os cinco cenários adotados para o estudo (10%, 20%, 30%, 40% e 50% de óleos lubrificantes industriais sendo comercializados em tambores metálicos), a maioria dos fluxos com origem nas regiões Norte e Nordeste apresentou custo superior à receita para a alternativa recuperação. Isto pode ser explicado pela longa distância entre os pontos de origem e os pontos de destino. Em média, esses pontos de origens estão a aproximadamente 2.100 quilômetros do recuperador mais próximo, o que torna elevado o custo

médio do frete. Esse custo é R\$37,43 por unidade, no cenário simulado de 10% do mercado, o que representa, em média, 50,63% do custo total, variando de R\$24,18 em Pernambuco a R\$76,03 em Roraima, por unidade transportada. Observa-se uma tendência de melhoria no resultado, de acordo com o aumento da oferta de tambores. No cenário simulado de 50% do mercado, o frete médio foi reduzido de R\$37,43 para R\$28,49 por unidade, equivalente a 43,84% do custo total. Contudo, mesmo com essa redução, os fluxos continuaram inviáveis. Fig. 2 apresenta as origens e destinos estudados, considerando o cenário de 50%.

Fluxos da alternativa recuperação				Fluxos da alternativa reciclagem							
Origens	Receita (-) Custo (=) Resultado	Conclusão	Destinos	Origens	Receita (-) Custo (=) Resultado	Conclusão	Destinos				
OAP	53,50	71,07	-17,57	Inviável	DMT	OAP	5,48	5,83	-0,35	Inviável	DMB
ORR	53,50	82,12	-28,62	Inviável	DMT	ORR	5,48	7,69	-2,21	Inviável	DMB
OAM	53,50	69,74	-16,24	Inviável	DMT	OAM	5,48	8,01	-2,53	Inviável	DMB
OAC	53,50	80,06	-26,56	Inviável	DMT	OAC	5,48	9,38	-4,10	Inviável	DMB
ORO	53,50	61,89	-8,39	Inviável	DMT	ORO	5,48	7,84	-2,36	Inviável	DMB
OPA	53,50	60,86	-7,36	Inviável	DMT	OPA	5,48	4,83	0,65	Viável	DMB
OTO	53,50	52,34	1,16	Viável	DMT	OTO	5,48	5,06	0,42	Viável	DMB
OMA	53,50	58,19	-4,69	Inviável	DMT	OMA	5,48	5,11	0,37	Viável	DMU
OPI	53,50	62,06	-8,56	Inviável	DMT	OPI	5,48	4,14	1,34	Viável	DMU
OCE	53,50	64,30	-11,00	Inviável	DTA	OCE	5,48	4,56	0,92	Viável	DJB
ORN	53,50	62,35	-8,85	Inviável	DTA	ORN	5,48	4,29	1,19	Viável	DJB
OPB	53,50	59,47	-5,97	Inviável	DTA	OPB	5,48	4,53	0,95	Viável	DJB
OPE	53,50	60,15	-6,65	Inviável	DTA	OPE	5,48	4,43	1,05	Viável	DJB
OAL	53,50	57,65	-4,15	Inviável	DTA	OAL	5,48	4,44	1,04	Viável	DSF
OSE	53,50	59,82	-6,32	Inviável	DMT	OSE	5,48	4,80	0,68	Viável	DMB
OBA	53,50	52,37	1,13	Viável	DMT	OBA	5,48	4,69	0,79	Viável	DSF
OMT	53,50	51,79	1,71	Viável	DMT	OMT	5,48	6,50	-1,02	Inviável	DMB
OGO	53,50	44,19	9,31	Viável	DMT	OGO	5,48	5,66	-0,18	Inviável	DPC
ODF	53,50	44,69	8,81	Viável	DMT	ODF	5,48	5,49	-0,01	Inviável	DIP
OMS	53,50	45,09	8,41	Viável	DMT	OMS	5,48	5,69	-0,21	Inviável	DPC
OMG	53,50	43,05	10,45	Viável	DTA	OMG	5,48	4,35	1,13	Viável	DIP
ORJ	53,50	40,53	12,97	Viável	DTA	ORJ	5,48	4,21	1,27	Viável	DVR
OES	53,50	44,67	8,83	Viável	DTA	OES	5,48	3,99	1,49	Viável	DSR
OSP	53,50	37,47	16,03	Viável	DMT	OSP	5,48	4,09	1,39	Viável	DPC
OPR	53,50	42,38	11,12	Viável	DMT	OPR	5,48	4,38	1,10	Viável	DAR
OSC	53,50	40,39	13,11	Viável	DCA	OSC	5,48	4,35	1,13	Viável	DAR
ORS	53,50	38,92	14,58	Viável	DCA	ORS	5,48	4,32	1,16	Viável	DSA

Legenda: OAP- origem Amapá, ORR- origem Roraima, OAM- origem Amazonas, OAC- origem Acre, ORO- origem Rondônia, OPA- origem Pará, OTO- origem Tocantins, OPI- origem Piauí, OCE- origem Ceará, ORN- origem Rio Grande do Norte, OPB- origem Paraíba, OPE- origem Pernambuco, OAL- origem Alagoas, OSE- origem Sergipe, OMA- origem Maranhão, OBA- origem Bahia, OMT- origem Mato Grosso, OGO- origem Goiás, ODF- origem Distrito Federal, OMS- origem Mato Grosso do Sul, OMG- origem Minas Gerais, ORJ- origem Rio de Janeiro, OES- origem Espírito Santo, OSP- origem São Paulo, OPR- origem Paraná, OSC- origem Santa Catarina, ORS- origem Rio Grande do Sul, DMT- destino Matão, DTA- destino Taubaté, DCA- destino Canoas, DMB- destino Marabá, DMU- destino Maracanã, DJB- destino Jaboatão dos Guararapes, DSF- destino Simões Filho, DPC- destino Piracicaba, DIP- destino Ipatinga, DVR- destino Volta Redonda, DSR- destino Serra, DAR- destino Araucária, DAS- destino Sapucaia do Sul. Obs.: cenário de 50% do óleo vendido acondicionado em tambores metálicos.

□ - origens região Norte, □ - origens região Nordeste, □ - origens região Centro-Oeste, □ - origens região Sudeste, □ - origens região Sul, □ - destinos de reciclagem e recuperação.

Fig. 2. Custos e receitas das alternativas de destinação do tambor usado.

Já a Tabela II demonstra os resultados médios apurados em cada origem (média simples dos resultados considerando os cinco cenários). Destacam-se os pontos de origem Tocantins e Bahia como exceções nas regiões Norte e Nordeste. Tocantins apresenta resultado médio de apenas R\$1,16 por unidade. Já a origem Bahia apresenta-se viável em todos os cenários de mercado simulados, contudo, também operando com resultado baixo em torno de R\$1,30 por unidade. Ambas as origens

encontram-se a 1.250 km do recuperador mais próximo. O custo do frete nesses dois pontos de origem apresentou uma média de R\$15,77 por unidade, representando 30,17% do custo total. Outro ponto de origem com situação parecida é Mato Grosso com resultado em torno de R\$2,05 por unidade.

TABELA II: RESULTADO MÉDIO POR TAMBOR DAS ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO

Região	UF	Recuperação		Reciclagem	
		Resultado médio (R\$/un)	Lucro médio	Resultado médio (R\$/un)	Lucro médio
Norte	AP	-24,96	Inviável	-0,35	Inviável
	RR	-32,68	Inviável	-2,21	Inviável
	AM	-16,02	Inviável	-2,53	Inviável
	AC	-30,43	Inviável	-4,10	Inviável
	RO	-9,37	Inviável	-2,36	Inviável
	PA	-7,17	Inviável	0,65	11,86%
	TO	1,16	2,17%	0,68	7,66%
Nordeste	MA	-6,20	Inviável	0,68	12,41%
	PI	-6,56	Inviável	0,37	6,75%
	CE	-7,99	Inviável	1,34	24,45%
	RN	-10,86	Inviável	0,92	16,79%
	PB	-8,27	Inviável	1,19	21,72%
	PE	-5,52	Inviável	0,95	17,34%
	AL	-8,70	Inviável	1,05	19,16%
	SE	-5,98	Inviável	1,04	18,98%
	BA	1,30	2,43%	0,79	14,42%
Centro-Oeste	MT	2,05	4,15%	-1,02	Inviável
	GO	9,42	17,61%	0,65	Inviável
	DF	8,99	16,80%	0,68	Inviável
	MS	8,40	15,70%	0,37	Inviável
Sudeste	MG	10,62	19,85%	1,13	20,62%
	RJ	13,06	24,41%	1,27	23,18%
	ES	9,11	17,03%	1,49	27,19%
	SP	16,06	30,02%	1,39	25,36%
Sul	PR	11,26	21,05%	1,10	20,07%
	SC	13,23	24,73%	1,13	20,62%
	RS	14,63	27,35%	1,16	21,17%

Nos demais pontos de origem da região Centro-Oeste e nos pontos de origem das regiões Sul e Sudeste, as receitas superaram os custos em todos os cenários simulados, com resultado bem mais expressivo do que os resultados dos pontos de origem Bahia e Mato Grosso. Os pontos de origem citados dessas regiões apresentaram resultado médio de R\$11,48 por unidade, equivalente a 21,46% de margem de lucro. Destaca-se o ponto de origem São Paulo com o melhor resultado, com média de R\$16,06 por unidade. O custo médio do transporte, entre essas origens, foi de R\$5,52 por unidade, representando 13,14% do custo total. O destaque da origem São Paulo é explicável pela curta distância ao recuperador (78 quilômetros) e a alta oferta de tambores metálicos usados. Comparado ao ponto de origem Amazonas, a oferta de São Paulo é aproximadamente 1500% maior [14].

Na alternativa de reciclagem, os resultados demonstraram que os custos superaram as receitas para a coleta dos tambores metálicos usados como sucata em alguns pontos de origem, como Amapá, Roraima, Amazonas, Acre, Rondônia e todos os pontos de origem da região Centro-Oeste. Esses pontos estão em média localizados a aproximadamente 1.300 km do reciclador mais próximo. Isto permaneceu constante em todos os cinco cenários de mercado simulados. Em média, esses pontos de origem apresentaram resultado negativo de R\$1,44 por tambor (de 12 kg). Em média, o custo do frete nesses pontos de origem foi de R\$0,26/kg (45% dos custos totais).

Nos demais pontos de origem, a alternativa apresenta receita superior ao custo. O resultado médio foi de R\$1,00 por tambor (18,32% de margem de lucro), variando de R\$0,37 na origem Piauí (aproximadamente 530 quilômetros do destino) a R\$1,49 na origem Espírito Santo (aproximadamente 60 quilômetros do destino). Nesses pontos de origem, o custo médio do frete representou 14,97% dos custos totais, equivalente a R\$0,05 por kg transportado, mantendo-se constantes em todos os cenários simulados. A distância média entre os pontos de origem e os pontos de destino foi de aproximadamente 260 quilômetros.

Com base nestas observações, é possível concluir que as receitas superaram os custos para a coleta dos tambores metálicos, para as duas alternativas de destinação (reciclagem e recuperação), nos pontos de origem localizados nas regiões Sul e Sudeste e nas origens Bahia e Tocantins. A alternativa recuperação apresenta resultados mais significativos. O lucro médio por tambor entre todos os cenários simulados foi de R\$13,04 (24,37% de margem de lucro) na região Sul, R\$12,21 na região Sudeste (22,82% de margem de lucro), R\$1,30 na origem Bahia (2,43% de margem de lucro) e R\$1,16 na origem Tocantins (2,17% de margem de lucro).

Nos pontos de origem da região Centro-Oeste, a única alternativa financeiramente viável encontrada é a recuperação. Para os pontos de origem da região Nordeste, a reciclagem é a única alternativa viável encontrada, com exceção da origem Bahia. A recuperação é a única alternativa viável para a origem Pará. Os pontos de origem Amapá, Roraima, Amazonas, Acre e Rondônia apresentam custos maiores que as receitas para ambas as alternativas.

Na alternativa reciclagem, os lucros médios por tambor foram de R\$1,13, R\$1,32, R\$0,79 e \$0,42 nas regiões Sul, Sudeste, origem Bahia e origem Tocantins, respectivamente. Observando os cenários simulados de mercado, nos pontos de origem Bahia e Tocantins a alternativa reciclagem supera a alternativa recuperação no percentual de lucro, com 14,5% e 7,66% respectivamente. As distâncias entre pontos de origem e de destino estão diretamente relacionadas à lucratividade das alternativas, em razão dos custos de transporte.

Considerando que os destinos de recuperação tenham capacidade de processar toda a oferta de tambores metálicos usados e o mercado de tambores recuperados tenha demanda equivalente, recomenda-se a destinação dos tambores usados para a alternativa recuperação. Somente na impossibilidade de reuso e por questões econômicas, sugere-se o envio dos tambores usados para serem processados por meio da alternativa reciclagem.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foram apresentadas duas possíveis alternativas para destinação de tambores metálicos usados para acondicionamento de óleo lubrificante industrial. Embora as regiões Sul e Sudeste já estejam bastante desenvolvidas quanto a estrutura para realização do transporte e processamento, as demais regiões do Brasil necessitam de estudos mais detalhados, para que se tornem viáveis e despertem o interesse de empresas especializadas na destinação desses tambores.

Assim, comprovou-se a suposição apresentada referente à existência de elevados custos logísticos associados à coleta e ao transporte de tambores em estados da região Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Além disso, destaca-se o alcance do objetivo proposto ao se determinar custos e receitas associadas a cada fluxo, com origem em cada estado brasileiro.

Foram detectadas algumas barreiras que limitam o desenvolvimento do setor de recuperação e de reciclagem no Brasil. Uma das barreiras encontradas é o fato das empresas recuperadoras estarem instaladas em sua grande maioria no estado de São Paulo. Isto acaba inviabilizando a coleta de tambores usados em diversos pontos de origem mais afastados do ponto de destino de recuperação, devido aos custos elevados de transporte.

Outra barreira encontrada é a concentração das usinas siderúrgicas na região Sudeste. Segundo [7], 22 das 29 usinas siderúrgicas brasileiras estão localizadas nesta região. Esta concentração interfere no desenvolvimento das atividades de reciclagem em vários estados do Brasil, da mesma forma que no setor de recuperação as longas distâncias acabam por inviabilizar o negócio.

Neste contexto, salienta-se a importância da interferência do poder público no setor, dividindo a responsabilidade com a iniciativa privada, oferecendo incentivos e subsídios, melhorando a infraestrutura de transportes e criando instrumentos e programas de apoio. Nos pontos de origem considerados inviáveis para a alternativa recuperação, sugere-se a doação dos tambores usados por parte das empresas geradoras, como forma de eliminar o custo de aquisição de empresas recuperadoras. Isenção de impostos incidentes sobre as atividades de reciclagem e de recuperação também seriam forte incentivo dispensado ao setor. No mais, soluções para os casos de fluxos inviáveis devem ser desenvolvidas por todos os envolvidos na cadeia, tanto a cadeia direta de distribuição quanto a cadeia reversa de destinação dos tambores usados.

Como limitações do estudo, é necessário ressaltar que a análise contempla apenas custos e receitas, não sendo realizada uma análise de viabilidade financeira. Ressalta-se ainda que foram desprezados na análise impostos e outros custos que, se contemplados, poderiam inviabilizar fluxos com baixo resultado como os fluxos de origem Tocantins e Bahia.

Finalmente, para futuros estudos, recomenda-se a adoção de distâncias reais entre os pontos de origem e os pontos de destino. Com essa premissa, será possível identificar as melhores rotas terrestres e apurar os reais custos de transporte. Recomenda-se ainda a apuração dos reais pontos de origem dos tambores usados, substituindo a premissa dos centros geográficos dos estados. Com isto, é possível o estudo identificar pontos ou centrais nos estados para o recebimento dos tambores usados, a exemplo do trabalho do programa Jogue Limpo. Esta identificação dos reais pontos de origem é possível por meio de levantamento detalhado da distribuição de óleos lubrificantes industriais aos centros consumidores.

## Referências

[1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Resíduos Sólidos – Classificação”, 2004.

[2] Godecke, M. V., R. H. Naime, J. A. S. Figueiredo, “O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil”. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. vol. 8, n.8, pp.1700-1712, 2012.

[3] FGV – Fundação Getúlio Vargas, “Panorama das estimativas de geração de resíduos industriais”, 2003. Disponível em: <<http://www.abetre.org.br/>>. Acesso em: 13 jun 2016.

[4] ABRELPE – Associação brasileira de empresas de limpeza pública e resíduos especiais, “Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015”, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em 10 ago 2016.

[5] Brasil – Presidência da República Federativa do Brasil, “Lei n.º 12.305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos”. Brasília, DF, 2010.

[6] Missiaggia, R. R., “Gestão de resíduos sólidos industriais”. Dissertação – Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

[7] Instituto Aço Brasil, “Relatório sustentabilidade 2014/2015”. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/>>. Acesso em: 01 dez 2016.

[8] Jogue Limpo - Programa de logística reversa no Brasil, “Textos e informações do acordo setorial para logística reversa de embalagens plásticas de lubrificantes”, 2016. Disponíveis em: <[http://www.joguelimpo.org.br/arquivos/legislacao/acordo\\_setorial\\_assinado.pdf](http://www.joguelimpo.org.br/arquivos/legislacao/acordo_setorial_assinado.pdf)>. Acesso em: 05 set 2016.

[9] SINDICOM – Sindicato Nacional de Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes, “Anuário estatístico: combustíveis, lubrificantes e lojas de conveniência 2016”, 2016b. Disponível em <<http://www.sindicom.com.br/>> Acesso em 04 dez 2016.

[10] Oliveira, G., E. L. Machado, M. Morgado, S. Gouldbaum, C. O. M. Souza, L. F. A. F. Arouca, F. T. Basílio, F. S. Marcato, P. Sczufca, A. Z. Curi, “Painel de indicadores setoriais para o comércio atacadista de sucata ferrosa”. São Paulo, SP: GO Associados, 2014.

[11] Portela, J., “Informações a respeito de processamento de sucata ferrosa na empresa Trufer”. Comunicação pessoal, gerência operacional. Trufer. Barra Mansa – RJ, 2016.

[12] Bergantini, L. A., “Informações a respeito do processo de recuperação de tambores metálicos da empresa L2Pack”. Comunicação pessoal, gerência comercial. L2Pack. São Paulo – SP, 2016.

[13] Oliveira, A., “Informações a respeito do processo de recuperação de tambores metálicos da empresa Tamborline”. Comunicação pessoal, gerência comercial. Tamborline. Guarulhos – SP, 2016.

[14] SINDICOM – Sindicato Nacional de Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes, “Relatório de vendas de lubrificantes 2015”, 2016a. Disponível em: <<http://www.sindicom.com.br/>> Acesso em: 09 set 2016.

[15] BR – Petrobras Distribuidora, “Lubrax - Lubrificantes Industriais”, 2016. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos>>. Acesso em: 01 ago 2016.

[16] Chopra, S. e P. Meindl, “Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação”. São Paulo: Prentice Hall, 2006.

[17] Souza, R., “Informações a respeito do transporte de sucata. Comunicação pessoal, gerência operacional”. Transporte Excelsior. Volta Redonda – RJ, 2016.

[18] Diglio, I., “Informações a respeito de transporte de tambores metálicos da empresa Petrosol”. Comunicação pessoal, gerência comercial. Petrosol. Itaquaquecetuba – SP, 2016.

[19] Silva, A., “Informações a respeito do processo de recuperação de tambores metálicos da empresa Cotam”. Comunicação pessoal, gerência comercial. Cotam. Guarulhos – SP, 2016.

[20] Silva, K., “Informações a respeito do processo de recuperação de tambores metálicos da empresa Tambortec”. Comunicação pessoal, gerência comercial. Tambortec. Araçatuba – SP, 2016.

[21] Girux, “Apresenta informações a cerca de produtos químicos e derivados de petróleo”, 2016. Disponíveis em: <<http://www.fabricaquimica.com.br/>>. Acesso em: 01 out 2016.

[22] INESFA - Instituto Nacional das Empresas de Sucata Ferrosa, “Estudo setorial sucata ferrosa no Brasil”. São Paulo, 2012. 31p. Disponível em: <<http://almeidawalaw.com.br/>>. Acesso em: 28 out 2014.





# Design of a Self-sustainable System Based on Renewable Energy Sources for a Small Museum of Science Dissemination - the House of Silk

Wellington Maidana<sup>1,2</sup>, Vicente Leite<sup>1,3</sup>, Ângela Ferreira<sup>1,3</sup>, Luís Queijo<sup>1</sup>,  
José Batista<sup>1</sup>, Jakson Bonaldo<sup>2</sup>, Estefânia Gonçalves<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus de Campo Mourão  
Paraná, Brasil

<sup>3</sup> CISE - Electromechatronic Systems Research Centre  
Covilhã, Portugal

<sup>4</sup> Centro Ciência Viva de Bragança  
Bragança, Portugal

wellington-maidana@hotmail.com; avtl@ipb.pt; apf@ipb.pt; lqueijo@ipb.pt;  
jbatista@ipb.pt; jbonaldo@gmail.com; stefeat@gmail.com

**Abstract**—This paper presents the complete design of a self-sustainable system based on renewable energy sources - hydro and photovoltaic - for a small museum dedicated to the dissemination of science called House of Silk. The solution is based on a microgrid, connected to the main grid, using innovative technologies for energy production, storage and management. The microgrid is based on a cluster of three battery inverters which establish a three-phase supplying system. The hydro energy is generated using a low head, pico-hydro propeller turbine, connected to the microgrid through an innovative solution. The photovoltaic energy is produced by means of photovoltaic tiles and conventional modules.

**Keywords**—self-sustainable system; renewable energy sources; microgrid; pico-hydro system; photovoltaic.

## I. INTRODUÇÃO

A necessidade da produção de energia a partir de fontes renováveis é algo indiscutível nos dias atuais, principalmente pelas preocupações ambientais geradas pela utilização de combustíveis fósseis, sendo estes, ainda, a principal fonte de produção de energia de muitos países [1]. O desenvolvimento tecnológico atual, designadamente no âmbito da microgeração baseada em fontes renováveis de energia, permite conceber novas soluções energéticas inteligentes, em muitas aplicações de pequena dimensão, nomeadamente no setor residencial. A disseminação destes sistemas, ainda que de baixa potência, deverá contribuir, significativamente, para o aumento da sustentabilidade ao nível global. Neste contexto, os sistemas baseados em microrredes são soluções modernas e constituem

uma versão em pequena escala da rede elétrica, integrando produção, distribuição e gestão da energia elétrica. No caso de excesso ou défice de produção, as microrredes podem, respetivamente, fornecer ou receber energia da rede convencional [2]. As microrredes são sistemas que integram unidades de produção distribuída de energia, sistemas de armazenamento e cargas controláveis, numa rede de baixa tensão que pode funcionar tanto no modo ligado à rede como no modo autónomo [3]. As tecnologias disponíveis no mercado possibilitam atuar tanto na diminuição do consumo de energia elétrica, quanto no aumento da produção, com os requisitos necessários para criar um sistema confiável e seguro para o utilizador final. Um sistema de energia tem um elevado nível de segurança se fornece energia para as cargas essenciais e críticas, por longos períodos, proporcionando segurança, confiabilidade, sustentabilidade e boa relação custo-benefício [2].

A utilização de uma microrrede, intrínseca a sistemas autónomos de produção de energia, como os que utilizam energias renováveis, é muito versátil, podendo ser utilizada desde instalações residenciais até comunidades isoladas [4]. Em 2012, por exemplo, foi proposta uma microrrede para uma instalação em Waterloo, Canadá, utilizando módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, uma pico-hídrica e um gerador a diesel, para suprir a as necessidades energéticas de uma comunidade rural de consumo estimado em 5000 kWh/dia, com pico de demanda estimado em 1183 kWh [5]. Utilizando o *software* HOMER, foram simuladas várias configurações de microrrede utilizando diferentes combinações dos equipamentos. O estudo demonstrou, entre outros resultados, a viabilidade da implementação de sistemas sem emissão de carbono, apenas com recursos provenientes de fontes renováveis [5]. Em 2013, em Porto Alegre, Brasil, realizou-se

---

Os autores agradecem o financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, para a implementação desta iniciativa, no âmbito do Projeto SilkHouse - *Development of a smart microgrid based on renewable energy sources and a monitoring system for the House of Silk*.

um estudo de aproveitamento do potencial de microgeração hidroelétrica predial, utilizando a pressão normal da tubagem, fornecida pela concessionária, e a água das chuvas, além do esgoto [6]. As conclusões da análise foram favoráveis, mostrando que caudais considerados pequenos podem gerar energia de maneira significativa no consumo de energia elétrica de instalações residenciais. A Escola Superior de Tecnologia e Gestão (ESTiG), do Instituto Politécnico de Bragança (IPB), dispõe, desde 2012, de uma microrrede integrando apenas fontes renováveis de energia elétrica [7]. O projeto utiliza um inversor bidirecional para fazer o controlo e gestão dos fluxos de energia. A microrrede tem uma potência nominal de 5 kW e integra uma turbina eólica, um seguidor solar, um painel fotovoltaico fixo, um gerador a biodiesel que pode ser ligado ao sistema e um banco de baterias.

O projeto apresentado neste artigo visa transformar a Casa da Seda, do Centro Ciência Viva de Bragança, num edifício autossustentável, através da utilização de novas tecnologias de produção e utilização de energia baseadas no conceito de microrredes. Pretende-se que a Casa da Seda, tendo em conta a sua missão, sirva como plataforma de demonstração e divulgação destas soluções inovadoras para as futuras casas das cidades inteligentes. Para o efeito, pretende-se conceber uma microrrede inteligente, baseada em tecnologias inovadoras com integração de fontes renováveis de energia. Entre outras fontes renováveis, a microrrede irá integrar energia solar fotovoltaica e uma pico-hídrica devidamente integrada no local onde outrora existiu um moinho.

O presente artigo começa por caracterizar a Casa da Seda e estimar o seu potencial energético. Depois é concebida uma solução energética autossustentável baseada numa microrrede projetada para o edifício, com dados que demonstram a viabilidade da sua implementação, a qual será realizada no âmbito do projeto SilkHouse - *Development of a smart microgrid based on renewable energy sources and a monitoring system for the House of Silk*, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia.

## II. CARACTERIZAÇÃO DA CASA DA SEDA

Esta secção apresenta a caracterização da Casa da Seda para efeitos do desenho da solução autossustentável a conceber para o edifício.

### A. Descrição da Casa da Seda

A Casa da Seda é um museu situado num antigo moinho, na margem esquerda do rio Fervença, no coração da cidade de Bragança. É um espaço interativo, integrado no Centro Ciência Viva de Bragança, e é dedicado à história da seda. A Casa da Seda está localizada num antigo edifício onde as pessoas costumavam tingir sedas, no século XVIII. Nos séculos XIX e XX a propriedade funcionou como um moinho e ainda mantém as características originais da sua arquitetura. Mais tarde, tornou-se propriedade privada e produzia pão e biscoitos regionais, usando o potencial do moinho. Em 1990, o Município de Bragança adquiriu o edifício e recuperou-o durante a intervenção no Programa Polis, em 2006.

Hoje em dia, a Casa da Seda é um museu dedicado à divulgação e disseminação de ciência, onde ocorrem cursos,



Fig. 1. Casa da Seda.

palestras e exposições. O museu conta, também, com uma exposição permanente sobre a história da seda, dando uma visão geral das várias fases da sua produção desde o desenvolvimento da lagarta e formação do casulo até ao processo de fiação e tecelagem. A Casa da Seda recebe por ano, em média, mais de 11500 visitantes.

O edifício, apresentado na Fig. 1, encontra-se localizado no concelho de Bragança, no centro da zona urbana, a uma altitude de 664 m. Quanto à arquitetura, trata-se de um edifício em banda, de 3 pisos e com boa exposição solar. Apresenta uma estrutura de pedra, cobertura em madeira e telha cerâmica, paredes rebocadas, vãos de madeira e, no seu interior, existem tabiques e alvenarias de pedra tradicional original.

### B. Caracterização elétrica do edifício

A instalação elétrica é alimentada a partir da rede de distribuição de energia em baixa tensão, trifásica, com potência contratada de 13,6 kW. Trata-se de um edifício com um período de utilização semanal, de terça-feira a domingo, com funcionamento centrado no período diurno, entre as 10:00h e as 18:00h. Para além do funcionamento normal, são realizados, de forma regular, diversos eventos, principalmente no final da semana, estendendo as atividades até cerca das 24:00h.

Por se tratar de um museu, as principais cargas elétricas do edifício são, essencialmente, computadores, monitores, projetores, sistemas de som, ar condicionado, alguns aquecedores e iluminação. A Tabela I, apresenta a energia consumida nos últimos três anos, obtida a partir do histórico das faturas de eletricidade.

TABELA I - ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA NOS ÚLTIMOS TRÊS ANOS

Consumo anual de energia elétrica (kWh)	2014	2015	2016
	18102	14008	16703

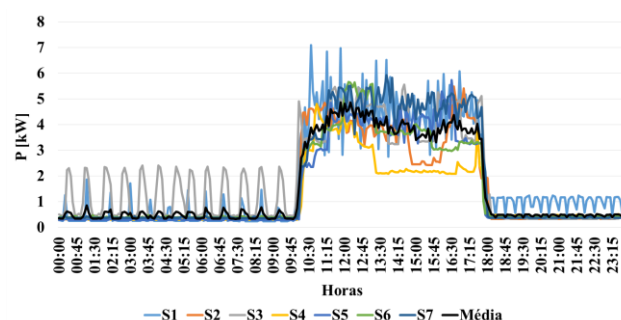


Fig. 2 Diagrama de cargas do edifício, num dia típico da semana (quinta-feira), durante as 7 semanas de monitorização (S1 a S7).

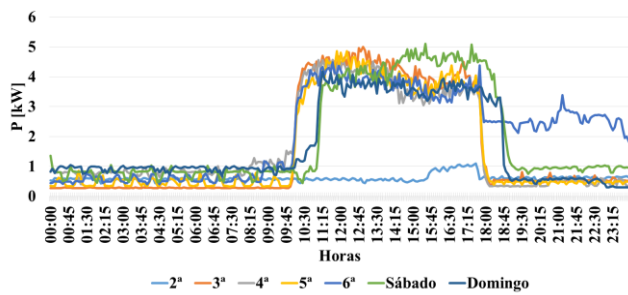


Fig. 3 Média da potência das cargas no edifício, por dia da semana.

As Figuras 2 e 3 apresentam outros dados importantes, designadamente os registos da potência consumida no edifício, adquiridos utilizando o analisador de energia PEL 103, durante 7 semanas, concretamente de 6 de fevereiro a 2 de abril de 2017. A Figura 2 apresenta os diagramas de potência das cargas, durante um dia típico (quinta-feira), juntamente com a média das leituras desse dia da semana, durante aquele período.

A Figura 3, apresenta o diagrama de cargas com a potência média de cada dia da semana, durante o mesmo período.

Com base nos dados apresentados, pode-se estimar que o consumo de energia do edifício, em dias de atividade normal, é, em média, de 45 kWh por dia. Por outro lado, confirma-se que o consumo mais significativo ocorre entre as 10h00 e as 18h00, prolongando-se, em alguns dias, até às 24 horas.

### C. Caracterização do potencial energético do edifício

Da análise ao edifício, destacaram-se duas estruturas para o estudo do seu potencial energético: o telhado com excelente exposição solar e a estrutura do antigo moinho e um dique mesmo junto à Casa da Seda. Levando em consideração a área do telhado do edifício, existem duas áreas preferenciais para a instalação de módulos fotovoltaicos: uma com 40 m<sup>2</sup> e outra com 20 m<sup>2</sup>. Ambas possuem orientação ao sul e com inclinação do telhado de aproximadamente, 16°. O potencial de produção anual de energia fotovoltaica é de aproximadamente 1395 kWh/kWp, por ano, segundo uma estimativa realizada pelo software PVGIS [8]. De acordo com os dados reais de unidades fotovoltaicas instaladas desde 2010, num local com características climáticas similares, a 2 km de distância, no Campus do IPB, a produção de energia é de 1466,9 kWh por ano, por kWp instalado, sendo que, neste caso a inclinação foi otimizada para o local, 35°.

Como referido anteriormente, na Casa da Seda funcionava um moinho e os espaços originais foram conservados, o que possibilita, com algumas adaptações simples, a instalação de uma pequena hídrica para produção de energia, sem alteração arquitetónica das infraestruturas. Uma pico-hídrica, conforme definido em [7], caracteriza-se por uma capacidade de produção até 5 kW. Considerando uma altura de queda bruta, h, em metros, um caudal, Q, em litros por segundo, a aceleração da gravidade, g = 9,8, em m/s<sup>2</sup> e uma eficiência global de 50%, que contempla todas as perdas no sistema, a estimativa de potência produzida é dada por [9]:

$$P = 0,5 \times 9,8 \times h \times Q \approx 5 \text{ h Q} \quad (1)$$

No local existe uma altura máxima disponível de 5 m e a instalação será dimensionada para um caudal de 55 l/s sendo possível, nestas condições, produzir uma potência de 1,46 kW, utilizando uma turbina do tipo hélice, de baixa queda [10]. Uma outra vantagem desta ação é a revitalização da infraestrutura do antigo moinho para fins de demonstração, aproveitando a sua capacidade de produção de energia, que será consumida no próprio edifício. Embora a solução do aproveitamento pico hidroelétrico apresente um comportamento sazonal, identificam-se duas vantagens importantes: produção não intermitente, contribuindo para uma menor capacidade do sistema de armazenamento de energia a adotar, e complementaridade sazonal relativamente à energia solar fotovoltaica, pois tem maior potencial durante os meses de inverno, quando a radiação solar é menor, podendo não funcionar nos meses de verão, quando o caudal for muito baixo.

Estima-se que o tempo de paragem seja não superior a 30%, incluindo os períodos de falta de caudal [11] e de paragem para limpeza e manutenção. Nestas condições, a energia produzida por dia será de 35 kWh e o valor anual estimado é de 8900 kWh. Este valor corresponde a quase metade (45%) do consumo médio anual, da Casa da Seda, registado nos últimos 3 anos.

Com base no potencial energético, conclui-se que a utilização combinada destes recursos endógenos (hídrico e fotovoltaico) pode suprir a energia consumida no edifício, contribuindo para a autossustentabilidade da Casa da Seda, com um saldo anual nulo, entre a energia produzida e consumida. Se devidamente integradas numa microrrede, com alguma capacidade de armazenamento de energia e de gestão e controlo destes recursos e das cargas da instalação é possível aumentar a quota de autoconsumo, reduzindo assim, as necessidades de interação com a rede elétrica convencional. Na secção seguinte apresenta-se a conceção de uma solução energeticamente autossustentável.

## III. CARACTERIZAÇÃO DA SOLUÇÃO

A solução energeticamente autossustentável para a Casa da Seda, no contexto de um edifício dedicado à divulgação e disseminação da ciência, passa pela implementação de medidas de eficiência energética, complementarmente à instalação de uma microrrede integrando energia hídrica e fotovoltaica.

### A. Medidas de eficiência energética

Com base na caracterização energética do edifício é possível identificar o perfil de consumo de energia da Casa da Seda, através da análise dos diagramas de carga apresentados nas Figuras 2 e 3, e estimar o potencial de redução de consumo no local. Uma das principais medidas a serem implementadas será a realização de ações de sensibilização, incentivando a utilização da energia elétrica de forma mais racional, evitando consumos desnecessários. Outra medida será a requalificação da iluminação, que conta, ainda, com um número elevado de lâmpadas de halógeno, como pode ser observado na Tabela II. Através da substituição de lâmpadas de halógeno por lâmpadas mais eficientes, como as de LED por exemplo, estima-se uma redução de consumo mínima até 5 kWh por dia.

TABELA II – CONSUMO DE ENERGIA DA ILUMINAÇÃO

Tipo de lâmpada	Potência [W]	Quantidade	Tempo médio de funcionamento (h)	Consumo (kWh)
FT5 (18W)	18	5	5	450
Halogéneo (28W)	28	16	5	2240
Halogéneo (50W)	50	15	5	3750

### B. Microrrede da Casa da Seda

A microrrede a instalar no edifício, será baseada na experiência adquirida num projeto implementado num laboratório no IPB, em 2012, descrito em [7] e [12]. Pretende-se manter as características atuais da instalação elétrica da Casa da Seda, designadamente a alimentação trifásica. Para isso serão utilizados três conversores bidirecionais Sunny Island (SI4.4H-11), da SMA [13], que serão responsáveis por estabelecer um sistema trifásico (400 V, 50 Hz). Um dos inversores funcionará como *master* e será responsável pelo controlo do fluxo de energia. A potência nominal de cada um é de 3,3 kW, totalizando uma potência nominal de 9,9 kW. Estes inversores podem disponibilizar uma potência de 13,2 kW durante 30 minutos. A microrrede da Casa da Seda, conforme ilustrado na Fig. 4, integrará um sistema de energia com fontes renováveis (hídrica e fotovoltaica, incluindo telhas fotovoltaicas), armazenamento (banco de baterias) e gestão de consumo. O sistema contará com um sistema de monitorização remoto, com características similares ao sistema instalado em [7].

### C. Sistemas de microgeração

Para colmatar a necessidade de energia do edifício será aproveitado o seu potencial energético, hídrico e fotovoltaico, apresentado na secção anterior. Aproveitando as atuais características físicas da Casa da Seda, não serão necessárias

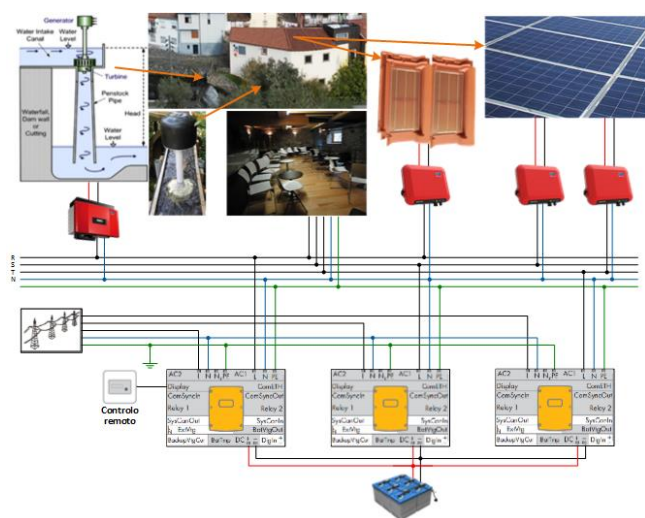


Fig. 4 Microrrede para a Casa da Seda, com integração de produção hídrica e fotovoltaica baseada em telhas fotovoltaicas e módulos convencionais, armazenamento e gestão de consumo.

intervenção significativas, principalmente no que se refere à implantação da pico-hídrica, tirando proveito da infraestrutura do antigo moinho e da proximidade do dique, mesmo junto do edifício.

Respeitando o património arquitetónico do edifício, pretende-se aproveitar o potencial hídrico existente. Tendo como referência os trabalhos já realizados no mesmo contexto [11], e considerando o enquadramento existente, apresenta-se como muito favorável a instalação de uma turbina do tipo hélice de baixa queda. Com efeito, a captação de água, para seu funcionamento, não causará danos ambientais nem alterações físicas, além de ser uma plataforma para disseminação e demonstração de produção de energia através do uso da água. A turbina ficará visível para o público, através de uma janela no pavimento já existente. Será utilizada uma turbina LH400, da PowerSpout, que integra um gerador de ímanes permanentes com potência de 1,6 kW, velocidade máxima de 1600 rpm e tensão em circuito aberto de 400 V. Esta será instalada a uma cota superior cerca de 5 metros, com um caudal estimado de 55 l/s.

Outra grande vantagem da implementação da pico-hídrica é a possibilidade de aproveitamento da água do rio Fervença durante a maior parte do ano, e do dique já existente. De acordo com a referência [11], mesmo levando em consideração períodos com pouca chuva, no verão, estima-se um caudal suficiente para a produção de energia, num período mínimo de 70% do ano, durante 24 horas por dia. A Figura 5, apresenta as cotas e o ilustra o trajeto percorrido pela água desviada do rio. Pela figura pode-se verificar que a altura de queda da água até à restituição ao rio é de aproximadamente 5 m. Para a turbina selecionada, a potência elétrica disponível estimada será de 1,1 kW, admitindo perdas de carga de 25% devido ao facto de o tubo de carga não poder ser instalado na vertical e ter inevitavelmente algumas curvas [10]. Nestas condições reais, estima-se que a energia produzida será de 26,3 kWh/dia.

Foram publicadas, recentemente, soluções inovadoras para a ligação à microrrede de sistemas pico-hídricos, com resultados fiáveis utilizando inversores fotovoltaicos convencionais, amplamente disponíveis no mercado e a baixo custo [14], [15] e [16]. A solução para esta integração consiste em ligar a tensão retificada do gerador diretamente à entrada de um inversor fotovoltaico, que realiza a interface com a microrrede. Esta solução requer a utilização de um circuito de proteção para limitar a velocidade do gerador e a tensão à entrada do inversor, em situações transitórias. Sempre que o

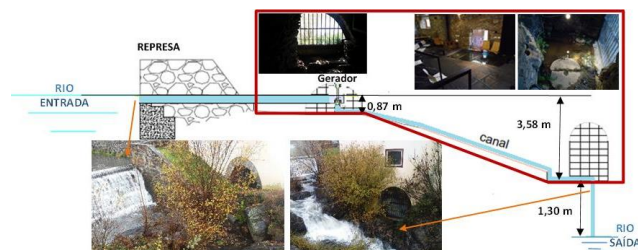


Fig. 5 Esquema da pico-hídrica a instalar na Casa da Seda.



inversor se desconectar da rede ou durante as colocações em serviço, após paragens, uma vez que os inversores podem demorar mais de 1 minuto a iniciar a injeção de energia na rede, o circuito de proteção dissipa a potência do gerador numa resistência externa, prevenindo assim sobrelevação da tensão [15]. O inversor fotovoltaico, encarrega-se de fazer o seguimento do ponto de potência máxima, neste caso do gerador hídrico, e injetar a energia na rede [14] e [17]. O sistema de produção pico-hídrico para a Casa da Seda será baseado nestes trabalhos e o inversor selecionado será o SB2100TL, cuja compatibilidade foi garantida em [14].

Para complementar o consumo de energia do edifício será aproveitado o potencial solar existente, principalmente durante o verão, quando a pico-hídrica não funcionar. Serão instalados 1,5 kW em telhas fotovoltaicas da marca ZEP PV, com duas células fotovoltaicas de 9 Wp por telha (de cor vermelha), cujo rendimento é de 20.22%. São necessárias 168 telhas para a potência requerida e o inversor fotovoltaico a utilizar será o SB1.5, de 1500 W. A principal motivação da utilização de telhas fotovoltaicas é demonstrar a integração de energia fotovoltaica nos edifícios e analisar o desempenho desta nova tecnologia ao longo do tempo em condições reais. Por razões de preço, a potência a instalar em telhas é limitada, sendo necessário instalar adicionalmente 3 kWp em módulos fotovoltaicos convencionais distribuídos pelo telhado do edifício para complementar a produção de energia. Para tal serão utilizados dois inversores fotovoltaicos: SB1.5, perfazendo 3 kW.

#### IV. RESULTADOS

Nesta secção, serão apresentados os resultados esperados com as medidas propostas para a autossustentabilidade da Casa da Seda, em termos médios anuais. Da análise das faturas de energia relativas ao consumo no período de 2015 e 2016, resulta uma média de consumo anual é de 15355 kWh. Estima-se que o consumo anual de energia seja mitigado através das medidas de eficiência energética apresentadas anteriormente. É expectável uma redução anual de consumo próximo de 1900 kWh/ano, através da adequação de comportamentos e da substituição de cargas, designadamente as lâmpadas de halogéneo por lâmpadas LED. Contudo, após as medidas de eficiência energética, o consumo anual passe a ser de 13455 kWh/ano, que corresponde a uma redução de 12.3% relativamente à média antes da implementação do plano de eficiência energética. Esta estimativa de consumo anual permite saber a quantidade de energia que deve ser gerada através das fontes renováveis para colmatar as necessidades anuais do edifício. A pico-hídrica apresenta enormes vantagens, conforme discutido na secção anterior, uma vez que funciona 24 horas por dia, oferecendo uma capacidade de produção diária de 26,4 kWh, apenas com uma potência de 1,1 kW. Daqui, e atendendo ao fator de utilização anual da potência instalada de 70%, como indicado na secção III.C, a produção estimada da pico-hídrica é de 6745,2 kWh/ano.

A produção fotovoltaica deverá ser responsável pela restante parcela da energia que é necessário produzir. Da potência a instalar em telhas fotovoltaicas, de 1,5 kWp, estima-

se a produção média diária em 6,22 kWh/dia, de acordo com a informação do fabricante (tendo como referência a região do Porto, devendo ser superior na região de Bragança). A restante energia será produzida por 3 kWp em módulos convencionais, cuja produção diária será 12,3 kWp, com base em dados reais conhecidos para o local (4,1 kWh/dia, por kWp instalado). Assim, estima-se que as telhas produzam 2270 kWh/ano e que os módulos produzam 4489,5 kWh/ano.

Atendendo às estimativas anteriores, as microfontes renováveis (hídrica e fotovoltaicas) assegurariam uma produção de 13505 kWh/ano, sendo este valor ligeiramente superior à energia anual consumida no edifício, demonstrando, desta forma, a possibilidade de tornar a Casa da Seda autossustentável, com base em recurso endógenos sem impacto arquitetónico ou ambiental. Esta autossustentabilidade fica assegurada em termos médios anuais, mas a mesma não é possível em termos instantâneos ou mesmo diários devido à intermitência dos recursos renováveis, designadamente a energia solar, e a imprevisibilidade do consumo instantâneo. Nos sistemas isolados, esta dificuldade é resolvida com recurso a bancos de baterias de maior capacidade e, em último caso, a um grupo motor-gerador. Na Casa da Seda, uma vez que a rede convencional está presente, o balanço instantâneo de energia pode ser conseguido através de injeção do excesso de energia na rede e do fornecimento, a partir da mesma, sempre que a produção e a energia armazenada forem insuficientes. Atendendo à legislação em vigor, o preço por kWh, da energia vendida à rede é muito inferior ao preço da energia comprada, no momento da entrada em funcionamento da instalação. Esta situação traduz-se num compromisso entre a energia injetada na rede e a capacidade de armazenamento das baterias. Assim, há vantagens em aumentar a capacidade de armazenamento durante os períodos de excesso de produção instantânea, relativamente ao consumo, aumentando, assim, a quota de autoconsumo e minimizando a quota de venda à rede elétrica. Contudo, esta vantagem implica um maior investimento no banco de baterias. Do ponto de vista da instalação (consumidor) a situação ideal seria a de não haver diferença de preço, na compra e venda de energia e, nesse caso, a rede funcionaria como um sistema de armazenamento de capacidade ilimitada, fornecendo a energia necessária quando o consumo fosse superior à produção recebendo, na situação inversa.

Se a rede elétrica não estivesse disponível, seria necessário um banco de baterias com capacidade de armazenamento elevada, de modo a assegurar um ou mais dias de autonomia. O aumento da capacidade de armazenamento faz subir o investimento, sendo justificável em microrredes instaladas em locais isolados sem acesso à rede pública ou, nas situações em que, por razões legais, não é possível injetar energia na rede. Estas situações não se aplicam na Casa da Seda. Neste caso, prevê-se a instalação de um banco de baterias com capacidade mínima de 400 Ah, cerca de 20 kWh. Desta capacidade apenas será utilizada 50% (200 Ah) de modo a salvaguardar a vida útil das baterias [13]. Esta capacidade, utilizável, garante a acumulação do excesso de energia durante a noite, em que a pico-hídrica está a funcionar e produz mais energia do que é consumida.

Por fim, realizou-se um estudo comparativo entre o consumo de energia nos meses de inverno e nos meses de verão,

dos anos de 2015 e 2016, para que se possa comparar a estimativa de produção diária com a média do consumo nestes dois períodos, já considerando uma redução do consumo diário de 5,22 kWh. Estes são os meses onde há maior consumo de energia devido ao uso de aquecedores e ar condicionado, respetivamente. Conforme apresentado na Tabela 3, o consumo médio diário no inverno foi de 43,4 kWh e 31,8 kWh no verão. Considerando a produção diária de 37 kWh, verifica-se que a produção de energia no inverno será insuficiente, sendo necessário obter energia a partir da rede elétrica. No verão há excesso de energia e o sistema injetará energia na rede.

TABELA III – CONSUMO MÉDIO DIÁRIO DURANTE O INVERNO E VERÃO

Anos	Inverno (kWh/dia)	Verão (kWh/dia)
2016	47,0	38,6
2015	39,8	34,2
Média	43,4	31,8

## V. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta a conceção de um sistema autossustentável assente numa microrrede, conectada à rede elétrica convencional, que integra fontes renováveis de energia, e que utiliza tecnologias inovadoras que permitem a produção, armazenamento e consumo de energia de forma flexível e eficiente. O sistema foi concebido para um pequeno museu de divulgação e disseminação da ciência, designado por Casa da Seda. A conceção da microrrede para este edifício assentou na exploração dos dois principais recursos endógenos no local, designadamente uma pico-hídrica e unidades fotovoltaicas baseadas em telhas fotovoltaicas e módulos convencionais. Para a autossustentabilidade da Casa da Seda foi estimada uma produção anual de energia similar ao consumo médio anual de energia nos últimos dois anos, reduzido do valor previsto de poupança pela implementação imediata de eficiência energética. Para os valores previstos de produção de energia, quer hídrica quer fotovoltaica, foram utilizados dados de produção reais conhecidos, pelo que os resultados esperados de produção podem ser considerados fiáveis e demonstram a viabilidade da implementação do projeto. Do ponto de vista da sua realização física, especialmente a pico-hídrica, o projeto não implica quaisquer dificuldades uma vez que será utilizada a infraestrutura onde outrora existiu um moinho e um dique já existente, ao lado do edifício. Quanto à instalação elétrica existente, também não haverá alterações significativas, uma vez que se manterá o sistema trifásico, mas que passará a ser baseado num *cluster* de 3 inversores bidirecionais, ligados a um banco de baterias.

De realçar, ainda, dois aspetos inovadores: a avaliação de produção de energia a partir telhas fotovoltaicas e a integração da pico-hídrica na microrrede utilizando inversores fotovoltaicos convencionais, amplamente disponíveis no mercado e a baixo custo.

Por fim, a microrrede apresentada neste artigo constituirá uma exposição permanente de disseminação de sistemas sustentáveis, baseados em fontes renováveis de energia, num pequeno museu dedicado à divulgação e disseminação de ciência – a Casa da Seda, do Centro Ciência Viva de Bragança.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Ivone Fachada do Centro Ciência Viva e a Rui Oliveira e Vítor Gomes do Instituto Politécnico de Bragança, o apoio prestado durante a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- [1] M. H. K. Tushar, C. Assi, M. Maier e M. F. Uddin, "Smart Microgrids: Optimal Joint Scheduling for Electric Vehicles and Home Appliances," *IEEE Trans. on Smart Grid*, vol. 5, pp. 239 - 250, 2014.
- [2] Q. Fu, L. F. Montoya e A. Solanki, "Microgrid Generation Capacity Design With Renewables and Energy Storage Addressing Power Quality and Surety," *Microgrid Generation Capacity Design with Renewables*, December 2012, pp. 2019-2027.
- [3] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatzigargyriou e A. Dimeas, "Microgrids Management," *IEEE Power & Energy Magazine*, pp. 54-65, 2008.
- [4] S. Zhang, J. Yang, X. Wu e R. Zhu, "Dynamic Power Provisioning for Cost Minimization in Islanding Micro-Grid with Renewable Energy," in *Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2014.
- [5] O. Hefez e K. Bhattacharya, "Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids," *Renewable Energy*, vol. 45, 2012, pp. 7-15.
- [6] P. R. d. Q. Iorra, "Análise do Potencial de Microgeração Hidroelétrica Predial," Porto Alegre, Brasil, 2013.
- [7] V. Leite, Â. Ferreira, J. Batista e J. Couto, "Analysis of the Operation of a Microgrid with Renewable Distributed Generation," *III Congresso Iberoamericano sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables*, 1-2 December 2015.
- [8] PVGIS, "https://goo.gl/GF39cU". [Online].
- [9] A. Harvey, *Micro-Hydro Design Manual*, Great Britain: Exeter, 1993.
- [10] PowerSpout, "http://www.powerspout.com/low-head/", [Online]. [Acesso em Maio 2017].
- [11] V. Leite, T. d. Figueredo, T. Pinheiro, Â. Ferreira e J. Batista, "Dealing with the Very Small: First Steps of a Picohydro Demonstration Project in an University Campus," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 28-30 March 2012.
- [12] V. Leite, Â. Ferreira e J. Batista, "On the Implementation of a Microgrid Project with Renewable Distributed Generation," *I Congresso Iberoamericano sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables*, Soria, Spain, 23-24 September 2013.
- [13] SMA, "Design of Off-Grid Systems with Sunny Island Devices," 2017. [Online].
- [14] V. Leite, J. Couto, F. Ângela e J. Batista, "A Practical Approach for Grid-connected Pico-hydro Systems using Conventional Photovoltaic Inverters," *IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 4-8 April 2016.
- [15] V. Leite, A. Ferreira, J. Couto e J. Batista, "Reliability Analysis of Grid-connected Pico-hydro Systems using Conventional Photovoltaic Inverters," *18th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE 2016)*, Karlsruhe, Germany, 6-8 September 2016.
- [16] V. Leite, A. P. Ferreira, J. Couto e J. Batista, "Pico-hydro Systems: Microgrid-Connection approaches," *IV Congresso Iberoamericano Sobre Microrredes con Generación Distribuida de Renovables, Concepción, Chile*, 27-28 October 2016.
- [17] V. Leite, P. Ferreira, J. Couto e J. Batista, "Abordagens para a Ligação à Rede de Sistemas Pico-Hidroelétricos," *II Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia - CIEEMAT 2016*, 8-11 Novembro 2016.
- [18] M. H. K. Tushar, C. Assi e M. Maier, "Smart Microgrids: Optimal Joint Scheduling for Electric Vehicles and Home Appliances," *IEEE Transactions on Smart Grid ( Volume: 5, Issue: 1, Jan. 2014 )*, 06 January 2014, pp. 239 - 250.



# Aprovechamiento de los Recursos Renovables e Integración de las TICs: ejemplo práctico de una Microrred Eléctrica

Noelia Uribe-Pérez, Miguel Latorre  
Centro de Desarrollo de Energías Renovables  
CIEMAT  
Lubia, España

Itziar Angulo, David de la Vega  
Departamento de Ingeniería de Comunicaciones  
UPV/EHU  
Bilbao, España

**Abstract**—El cambio climático, la concienciación sobre la eficiencia energética, los nuevos modelos de mercado eléctrico y la evolución del consumidor hacia una figura más activa (*prosumer*) son los principales agentes del cambio de modelo energético actual hacia las Redes Inteligentes o *Smart Grids*. En este contexto las microrredes eléctricas tienen un papel fundamental ya que pueden considerarse como pilares básicos de las *Smart Grids*. Esta progresiva aparición de múltiples puntos de almacenamiento y generación, con una fuerte presencia de las energías renovables, pone de manifiesto la necesidad de sistemas de comunicaciones que permitan gestionar y controlar esos recursos distribuidos. Para ello, en este trabajo se presenta una microrred eléctrica real con un amplio despliegue de recursos renovables y se describe el sistema de comunicaciones implementado y sus funcionalidades derivadas, tales como la monitorización y la gestión de la carga. Finalmente, se incluyen las principales aplicaciones añadidas que surgen de la introducción de los sistemas de comunicaciones en el ámbito eléctrico.

**Keywords**—Energías Renovables, Microrredes, *Smart Grids*; Sistemas de Medida Avanzada, Tecnologías de la Información y Comunicación.

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico actual se caracteriza por seguir un modelo fuertemente centralizado, radial y tradicionalmente muy dependiente de los combustibles fósiles. Este modelo contrasta fuertemente con los nuevos requisitos y necesidades que se esperan del sistema eléctrico del futuro, también conocidos como redes eléctricas inteligentes o SGs (*Smart Grids*) y tales desafíos ponen en evidencia su obsolescencia. La introducción progresiva de fuentes energéticas distribuidas o DG (*Distributed Generation*), la liberación de los mercados energéticos, el cambio climático, la concienciación social sobre el consumo y su repercusión en el medio ambiente, la eficiencia energética, la seguridad de abastecimiento, la respuesta a la demanda, los sistemas de almacenamiento descentralizados y la progresiva introducción del vehículo eléctrico son factores clave en el cambio del modelo energético y se perfilan como soluciones a la actual crisis energética [1]. El nuevo sistema ha de caracterizarse por ser flexible, accesible, fiable, sostenible y económicamente viable [2], lo que supone una serie de cambios respecto a la red eléctrica actual, recogidos de forma sintética en la Tabla 1 [3].

En este contexto emerge con fuerza la figura de las *microrredes eléctricas* que, pese a no ser un concepto nuevo en absoluto, se perfilan como agentes de cambio del sistema eléctrico convencional. En esencia, una microrred eléctrica es un sistema energético integrado formado por recursos energéticos distribuidos, entre ellos la DG, así como múltiples cargas operando como una única red, autónoma y capaz de operar de forma aislada o conectada a la red principal [4]. Por lo tanto, una microrred podría considerarse como un pilar básico de la SG. El éxito de las microrredes y, por extensión, de las SGs, depende en gran medida del nivel de control y gestión que se pueda ejercer sobre ellas. Es por ello que la introducción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación o TICs cobran una especial relevancia. Tradicionalmente las infraestructuras eléctricas y las TICs han venido siguiendo caminos muy diferentes. Sin embargo, la red eléctrica necesita adoptar una visión de inteligencia distribuida propia de las redes de comunicación actuales. Numerosos estudios destacan que la introducción de las TICs en el desarrollo de las SGs y microrredes es un aspecto fundamental para que la red se vea beneficiada de forma cuantitativa y cualitativa a través de una correcta infraestructura de comunicaciones [5], [6] y [7].

TABLA I. COMPARATIVA ENTRE LA RED ELÉCTRICA ACTUAL Y LA QUE SE ESPERA EN EL FUTURO.

	Red Eléctrica Actual	Red Eléctrica Futura
<b>Naturaleza</b>	Electromecánica	Digital
<b>Comunicación</b>	Si existe, normalmente en un sentido	Bidireccional
<b>Generación</b>	Centralizada	Distribuida
<b>Sensorización</b>	Si existe, con pocos sensores y en sitios localizados	Sensorizada en su totalidad
<b>Monitorización</b>	Manual y en puntos localizados	Automática y a nivel global
<b>Escenario ante errores</b>	Con fallos y cortes	Adaptativa y aislable
<b>Actuación frente a fallos</b>	Reparación manual	Reparación automática ( <i>self-healing</i> )
<b>Control</b>	Limitado a puntos y acciones concretas	Ubicuo
<b>Rol del consumidor</b>	Pocas opciones para el usuario final	<i>Prosumers</i>

Este trabajo presenta una microrred eléctrica real, basada en recursos renovables en su mayor parte y con un amplio despliegue de TICs, destacando el sistema de medida avanzada que incorpora. Además, se incluye una descripción de las principales aplicaciones que se pueden llevar a cabo con un sistema como el presentado. El trabajo se ha desarrollado en las instalaciones del CEDER (Centro de Desarrollo de Energías Renovables), perteneciente a su vez al CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, MedioAmbientales y Tecnológicas).

## II. APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS RENOVABLES EN EL CEDER-CIEMAT

### A. Recurso Eólico

En la actualidad, el CEDER-CIEMAT cuenta con un total de cinco aerogeneradores, con las características que siguen a continuación. Además, algunos de ellos aparecen en la imagen de la Fig. 1.

- AOC trifásico de inducción, tripala con diámetro de 15 m y orientación a sotavento de 50 kW.
- Bornay Inclin monofásico bipala con diámetro de 4 m y orientación a barlovento de 3 kW.
- Vergnet trifásico de inducción, bipala con diámetro de 7 m y orientación a barlovento de 10 kW.
- Solener monofásico tripala con diámetro de 4 m y orientación a barlovento de 3 kW.
- Ennera monofásico tripala con diámetro de 4.36 m y orientación a barlovento de 3.2 kW.

### B. Recurso Solar

La energía fotovoltaica es una de las grandes apuestas del CEDER-CIEMAT, debido a las buenas características de insolación con las que cuenta el centro. Se han concebido dos tipos de instalaciones: pérgolas FV en suelo y cubiertas fotovoltaicas en los tejados de 3 edificios del centro, creando así perfiles *prosumers* (generadores + consumidores).

#### 1) Pérgolas FV

Las pérgolas FV se han localizado en dos sitios diferentes en los que se cuenta con espacio libre de sombras y en total se cuenta con cuatro instalaciones, con las siguientes características que siguen. Además, la Fig. 2 muestra la imagen de tres de ellas.

- 24 paneles de silicio policristalino SOLON P200 distribuidos en 4 series de 6 paneles, asociados a un inversor FV de 5 kW.
- 32 paneles de silicio monocristalino, BP SOLAR BP-5140 formando 4 series de 8 paneles, asociados a un inversor FV de 5 kW.
- 32 paneles de silicio monocristalino, BP SOLAR BP-5140 formando 4 series de 8 paneles, asociados a un inversor FV de 5 kW.

- 64 paneles de silicio monocristalino RECOM RCM-250-6PB, alojados en 2 estructuras y formando 4 series de 16 paneles cada una, asociados a un inversor FV de 15 kW.

#### 2) Prosumers

Tres edificios del Centro se han equipado con sendas cubiertas fotovoltaicas en sus tejados. De esta forma, los edificios consumirán la energía generada con los paneles. En caso de que ésta no fuera suficiente, demandarán del exterior. Si la energía generada no se consume en el edificio, se verterá a la red, pudiendo ser consumida por cualquier otra carga del Centro.

- 64 paneles de silicio monocristalino Gamesa Solar GS5-1501, distribuidos en 5 series de 16 paneles cada una, asociados a un inversor FV de 10 kW.
- 54 paneles fotovoltaicos de silicio monocristalino (36 paneles LDK-230P-20 de 230 W y 18 paneles Saclima SCL-240P de 240 W), distribuidos en 3 series de 18 paneles cada una, asociados a un inversor FV de 10 kW.
- 238 paneles de lámina delgada First Solar FS-397-Plus distribuidos en 17 series de 14 paneles cada una, asociados a un inversor FV de 20 kW.

### C. Recurso Hídrico

El aprovechamiento hídrico llevado a cabo en las instalaciones del CEDER-CIEMAT, forma una mini-central hidráulica con dos turbinas y sendos generadores. Para ello, se ha aprovechado el desnivel existente en la finca (unos 60 m) y se han construido dos depósitos de agua, con una capacidad aproximada de 1637 m<sup>3</sup> (depósito superior) y 2206 m<sup>3</sup> (depósito inferior).

#### 1) Grupo bombeo+turbina

Este grupo está basado en una turbina Pelton horizontal, que tiene asociado un generador asíncrono trifásico acoplado directamente al rodete de la turbina. La máxima potencia eléctrica generada alcanza aproximadamente los 40 kW, con una tensión de salida de 400 Vac trifásica y 50 Hz, pudiendo funcionar hasta 6 horas de forma continua a máxima potencia.

El grupo se complementa con un sistema de bombeo, consistente en dos bombas hidráulicas de 18.5 kW cada una que trabajan en paralelo, bombeando el agua turbinada en el depósito inferior hacia el superior a través de una tubería de fibrocemento de 100 mm de diámetro.

#### 2) Tornillo de Arquímedes

Finalmente, se procedió a la instalación de una turbina basada en el tornillo de Arquímedes, con el objetivo de maximizar el aprovechamiento del recurso hídrico. Este tipo de turbinas sigue el principio del tornillo de Arquímedes, en el que una máquina gravimétrica helicoidal o tonillo sin fin, se hace girar dentro de un cilindro hueco situado sobre un plano inclinado. En sus orígenes, se utilizaba para elevar un cuerpo o fluido situado por debajo del eje de giro. Pero en esta variante, se emplea para generar electricidad, ya que el agua que circula por el tornillo, hace que éste gire, accionando a su vez un

generador eléctrico. En la actualidad, el tornillo de las instalaciones del CEDER-CIEMAT, recogido en la Fig. 4, está en fase de caracterización, pero se estima una producción de entre 1 y 1.5 kW.

A los recursos renovables anteriormente descritos, hay que añadir un total de cuatro bancadas de baterías, tres de ellas de Plomo-Ácido y una cuarta de Ión-Litio, que complementan la DG con recursos distribuidos de almacenamiento. Las cargas de la microrred están formadas por todos los edificios del Centro, así como las diferentes labores de maquinaria y taller que se desempeñan diariamente. Finalmente, la microrred se agrupa en un total de siete Centros de Transformación, CTs, y está conectada a la red eléctrica externa mediante una subestación eléctrica localizada a la entrada del Centro. Esta subestación, baja el nivel de alta tensión suministrado por la compañía, 45 kV, hasta los 15 kV. Aguas abajo de esta subestación, el sistema eléctrico se reparte en los siete CTs donde se ubican los diferentes recursos distribuidos descritos, así como las cargas, de forma que la microrred se dispone tal y como recoge la Fig. 5.

### III. INTEGRACIÓN DE LAS TICs EN EN CONTEXTO ELÉCTRICO

El consecuente desafío de los nuevos modelos eléctricos, tales como SGs y microrredes, es el de la correcta gestión de los numerosos recursos distribuidos, cuya presencia crecerá progresivamente. En este contexto, las TICs toman una importancia crucial, ya que van a ser el núcleo del sistema gestor, de forma que, todos los puntos con suministro eléctrico, estarán también conectados a través un sistema de comunicaciones. Esta conectividad, que ha de ser bidireccional, permitirá no sólo obtener información de los recursos sino también enviar y recibir consignas de actuación.

#### A. La Medida Avanzada y los Contadores Inteligentes

Una buena gestión, precisa de herramientas de medición que permitan saber el estado de cada dispositivo y, en concreto, en el contexto eléctrico, los consumos. Precisamente, gran parte de las recientes inversiones en el sistema eléctrico, se han centrado en el campo de la medida. Los primeros intentos de automatización de medida, telemedida o AMR (*Automated Meter Reading*,) permitieron a las compañías eléctricas acceder de forma remota a los registros de los contadores eléctricos y, en algunos casos, a información muy básica sobre el estado de los contadores [8]. Pero el sistema AMR, caracterizado por su unidireccionalidad, no permite aplicaciones adicionales. Es por ello que surgió la medida inteligente o *Smart Metering*, que es la contextualización en el, actualmente en auge, “mundo *smart*” de las infraestructuras avanzadas de medida o AMI (*Advanced Metering Infrastructure*). La directiva europea 2012/27/EC, define el AMI como “sistema electrónico capaz de medir el consumo de energía, que proporciona más información que un contador convencional, y de transmitir y recibir datos utilizando una forma de comunicación electrónica”. Los sistemas AMI se caracterizan, por lo tanto, por su comunicación bidireccional, permitiendo además, aplicaciones añadidas para el mantenimiento y gestión de la red cuando trabajan junto con sensores y tecnología de control distribuida [9]. Esto convierte a los sistemas AMI en el motor

de cambio hacia los nuevos modelos eléctricos. La Fig. 6 muestra la comparativa entre un sistema AMR y un sistema AMI.



Fig. 1. Aerogeneradores instalados en las dependencias del CEDER-CIEMAT.



Fig. 2. Tres de las pérgolas FV instaladas en las dependencias del CEDER-CIEMAT.



Fig. 3. Turbina y bombas hidráulicas instaladas en las dependencias del CEDER-CIEMAT.



Fig. 4. Turbina hidráulica basada en el tornillo de Arquímedes instalada en las dependencias del CEDER-CIEMAT.

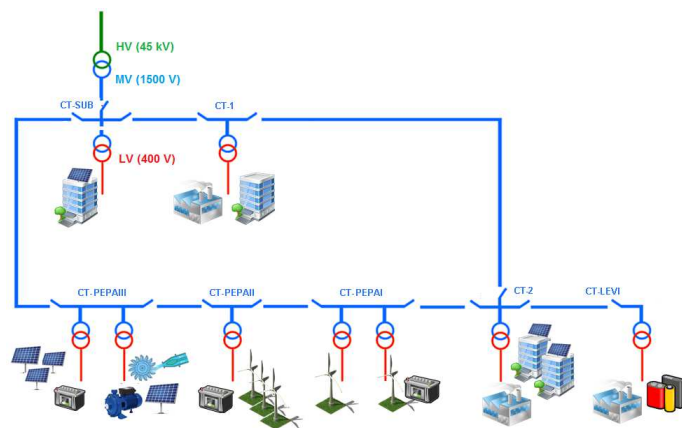


Fig. 5. Esquema de la microrred eléctrica instalada en las dependencias del CEDER-CIEMAT.

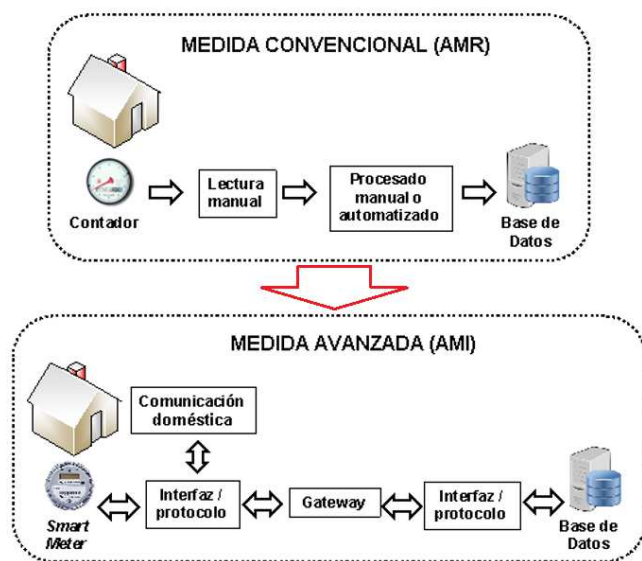


Fig. 6. Comparativa entre un sistema de medida convencional o AMR y un sistema de medida avanzada, smart metering o AMI.

Los cuatro pilares en los que se sustenta un sistema AMI son: el contador inteligente o SM (*Smart Meter*); el concentrador de datos o DC (*Data Concentrator*); el centro de control o CC (*Control Center*) y el sistema de comunicaciones empleado para el intercambio de datos y consignas, que cuenta con una amplia variedad tecnológica.

#### 1) *Smart Meter*

La piedra angular del AMI es, sin duda alguna, el SM. Ya no se trata de un contador digital, que recopila información de medida y la envía de manera unidireccional, en momentos puntuales, a una central para que sea procesada a posteriori por la compañía eléctrica. La evolución está en la introducción de la bidireccionalidad y de nuevas aplicaciones más allá de la telemedida clásica. Esta bidireccionalidad se da en dos planos diferenciados: energético (la energía ya no fluye en un solo sentido, principalmente debido a *prosumers* y sistemas DG y sistemas de almacenamiento) y de comunicaciones (los SMs envían los datos al concentrador, pero éste también puede

comunicarse con ellos). El SM incluye un nodo de comunicaciones embebido, de manera que él y el resto de SMs desplegados, forman parte de una red configurable y polivalente. Por lo tanto, el SM tiene dos funciones diferenciadas: medida y comunicación.

#### 2) *Concentrador de Datos*

La función principal del DC, es la de recopilar los datos de medida obtenidos por los SMs. Además, suele ejercer de nodo principal o maestro en la red formada por éste y los SMs, por lo que las señales de control y otras acciones que desee realizar la compañía sobre la red de SMs, pasarán por el DC, permitiendo así la gestión de los dispositivos en remoto. Por lo tanto, el DC también incluirá un nodo de comunicaciones. Además de la recopilación de datos y la gestión de red, los DC más modernos incluyen también funcionalidades añadidas, como son la supervisión de la baja tensión (al incluir el DC un SM embebido) y la posibilidad de establecer servicios *web*. Mediante ellos, las compañías pueden establecer comunicaciones con los dispositivos de la red, gestionarlos y programar tareas, entre otros. En cuanto a su localización, es habitual encontrar a los DCs en los centros de transformación y las subestaciones eléctricas. El número de SMs conectados al cable de baja tensión aguas abajo de un DC, depende de la tecnología de comunicaciones empleada y en gran medida de la topología de la red. Por ejemplo, en instalaciones europeas, es fácil encontrar subestaciones que sirven a varios cientos de usuarios, por lo que consecuentemente implicará una red de varios cientos de SMs bajo un mismo DC.

#### 3) *Centro de Control*

El CC es el encargado de recibir y almacenar los datos de medida para su procesamiento. El CC puede ser considerado como un sistema modular, en el que además del sistema gestor de los datos de medida, se encuentran otros módulos encargados de información del usuario (tarificación, información en página web de la compañía, etc), sistemas de previsión meteorológica, sistemas de información geográfica y sistemas de control y previsión de la carga, entre otros. En todo CC, siempre existe un módulo central o principal, que incorpora las herramientas necesarias para la validación, procesamiento y edición de los datos. El número y funcionalidad de los módulos del CC, depende del nivel de complejidad que se alcance en la gestión de la microrred o SG en cuestión. Además, es necesario que todos los módulos estén conectados entre sí.

#### 4) *Tecnologías*

Las tecnologías existentes para la medida avanzada, se pueden clasificar en dos grandes grupos: cableadas e inalámbricas. A grandes rasgos, las tecnologías cableadas son más robustas que su alternativa inalámbrica, pero éstas normalmente conllevan una instalación con un coste menor y más rápido y suelen ser más apropiadas para ubicaciones remotas o difíciles [10]. Entre las tecnologías cableadas destacan: las comunicaciones sobre cable eléctrico o PLC (*Power Line Communications*), el DSL (*Digital Subscriber Line*), y la fibra óptica pasiva o PON (*Passive Optical Network*). Entre las principales opciones inalámbricas, cabe destacar: las redes de radiofrecuencia malladas, las redes



celulares, las tecnologías del grupo IEEE 802.15 (ZigBee, 6LoWPAN y Bluetooth), del grupo IEEE 802.11 (Wi-Fi e IEEE 802.11n) y del grupo IEEE 802.16 (WiMAX).

## B. Sistema de comunicaciones en la microrred del CEDER-CIEMAT

Con el objetivo de dotar a la microrred del Centro de un sistema AMI, se procedió al despliegue de medidores en puntos estratégicos de la microrred, basados en la tecnología PRIME [11]. PRIME es un estándar PLC de banda estrecha, NB-PLC, (*NarrowBand PLC*) que usa el rango de frecuencias de 41.992 a 88.867 kHz, correspondiente a la banda CENELEC-A en Europa, y define las especificaciones de las capas física y MAC. PRIME es abierto y su modelo de datos se basa en el estándar DLMS/COSEM, ampliamente utilizado en aplicaciones de medida.

- La capa física de PRIME, está concebida para la comunicación sobre cableado eléctrico, originalmente dedicado a la transmisión y distribución de electricidad a 50-60 Hz y está basada en la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), conocida por su buen comportamiento frente a interferencias.
- La capa MAC de PRIME, especifica una configuración de la subred en forma de árbol. Además, define dos tipos de nodos de comunicaciones: el nodo maestro, encargado de gobernar la subred y los nodos de servicio, que serán los encargados de transmitir los datos de medida y de hacer las veces de repetidores cuando sea necesario. Una particularidad de esta tecnología, es que cuando los SMs se alimentan eléctricamente, y por extensión sus nodos de comunicaciones, la red de comunicaciones comienza a configurarse por sí sola. Esto es muy útil en grandes despliegues o en zonas de difícil acceso, ya que una vez que el SM se alimenta, automáticamente busca una red a la que conectarse.

Con la implantación de PRIME, se aprovecha el cableado eléctrico ya existente y capacidad de autoconfiguración de la red que incorpora. Esto implica que la red eléctrica física en LV, se va a corresponder biunívocamente con una red de comunicaciones PLC. En la actualidad, el centro cuenta con un total de 46 SMs, monofásicos y trifásicos, desplegados por toda la microrred y 9 DCs que incluyen también un SM interno. Los nodos de comunicaciones embebidos en los SMs, permiten transmitir señales por las 3 fases eléctricas simultáneamente o discriminar la mejor fase para transmitir la señal. De la misma forma, la recepción de la señal PRIME se realiza de forma independiente en las 3 fases. Por su parte, los SMs permiten la realización de medidas de intensidad y tensión (3 intensidades de fase y 3 de tensión en el caso de medidores trifásicos), medida de potencia activa con signo y reactiva en los cuatro cuadrantes, medida de energía activa bidireccional y reactiva en los cuatro cuadrantes y medida del factor de potencia instantáneo total y por fase.

El beneficio automático del sistema AMI, es la posibilidad de monitorizar la microrred. El estado topológico de las subredes y su evolución en el tiempo, es fácilmente accesible mediante servicios web y software específico. Además, es posible hacer consultas instantáneas y de perfiles temporales especificados por el usuario a cada uno de los SMs. Finalmente, comparando la tarifa y facturas eléctricas del Centro con las tarifas simuladas y los perfiles de carga, es posible diseñar patrones de comportamiento, con el objetivo de reducir costes y mejorar la eficiencia energética.

## C. Aplicaciones de las TICs en el ámbito eléctrico.

Más allá de la gestión y control que permite el AMI, existen aplicaciones adicionales que emplean los datos de medida, junto con información y dispositivos añadidos. Tanto las compañías eléctricas como los usuarios finales, pueden ser beneficiarios de ellas.

### 1) Calidad de la señal eléctrica

En una red de distribución, la tensión ha de mantenerse dentro unos márgenes, por cuestiones de seguridad, eficiencia y fiabilidad. Es por ello que, el control de la tensión, es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, tanto para suministradores como consumidores. En las redes de distribución convencionales, los dispositivos de control se situaban únicamente en las subestaciones. Sin embargo, con la complejidad introducida por la SG, esto ya no es suficiente y se precisa de una mejor y más frecuente información de control, papel que pueden desempeñar los SMs [12].

### 2) Respuesta a la demanda o DR (*Demand Response*)

Se trata de un conjunto de mecanismos, cuyo fin es el de coordinar de forma dinámica la curva de consumo de los usuarios finales, con las condiciones de suministro energético. De esta forma, se mejora la eficiencia energética del sistema. Uno de los sistemas DR más propuestos, es el de la tarificación dinámica, por el cual las compañías incentivan a los usuarios a reducir los picos de consumo y suavizar su curva de carga, mediante el traslado de actividades con mayor consumo energético a horas valle; pre-programando aplicaciones o activando generadores residenciales para complementar el suministro de la utility [13].

### 3) Facturación

Los sistemas AMI, resultan fundamentales en las aplicaciones relacionadas con la facturación. Los SMs reciben el coste tarifario, bien sea en tiempo real, con un periodo de antelación o mediante tarifas programadas previamente. Además, los SMs pueden conectar o desconectar el servicio eléctrico en remoto. Destacan las aplicaciones de tarificación por tiempo de uso o TOU (*Time-of-Use*), en tiempo real o RT (*Real-Time Pricing*) y en picos críticos o CPP (*Critical Peak Pricing*) [14].

#### 4) Aplicaciones en redes domésticas

El uso del AMI en redes domésticas, también se presenta prometedor. A partir de la información de medida, los usuarios pueden conocer y controlar su gasto energético, además de obtener una amplia gama de servicios como: perfiles de consumo, tarifas pre-pago, control sobre las cargas optimizando el consumo, apagado y encendido en remoto y visualización en remoto del consumo en tiempo real, entre otros. Por ejemplo, en [15] los datos obtenidos de la monitorización energética en hogares se utilizaron, junto con un algoritmo para clasificar diferentes categorías de consumidores según su curva de consumo.

#### 5) Vehículo Eléctrico o EVs (Electric Vehicle)

Con el creciente aumento de los EVs, su papel en las SGs y microrredes se hará progresivamente más relevante. Los EVs pueden funcionar como elementos distribuidos de la red en carga o descarga, por lo que resulta fundamental una infraestructura de AMI que permita monitorizar esos estados, e incluso gestionarlos. En [16] se propone un sistema AMI como parte de un sistema gestor de EVs, en el que los SMs intercambian datos de medida y señales de control con el gestor central.

#### 6) Control contra el fraude eléctrico

Algunos países están desarrollando técnicas para luchar contra el fraude eléctrico mediante sistemas AMI. Hacer un baipás al medidor o alterar su funcionamiento de alguna forma, así como usar métodos físicos para evadir el pago de la electricidad, son considerados como fraude eléctrico. En [17] los autores proponen un sistema compuesto por SMs, generadores de armónicos y filtros, que permiten detectar y amonestar a los responsables de un fraude eléctrico.

### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo destaca el rol de los sistemas de comunicaciones como elemento clave para el éxito de nuevos paradigmas eléctricos, como la SG. Como ejemplo práctico de lo anterior, se describe la microrred real instalada en el CEDER-CIEMAT. Esta microrred se caracteriza, no sólo por un notable despliegue de DG, basado principalmente en energías renovables, sino también por incorporar una extensa instalación de SMs y DCs, que dotan a la microrred de un sistema de comunicaciones que permite la monitorizar y gestionar la red. Este sistema está basado en la tecnología PLC, por lo que se aprovecha el tendido eléctrico existente para las comunicaciones, de forma que electricidad y comunicaciones comparten el medio de transmisión. Además, en el documento se abordan aplicaciones añadidas de los sistemas de comunicaciones, tales como: calidad de la señal, respuesta a la demanda, facturación, aplicaciones domésticas, vehículos eléctricos y control contra el fraude eléctrico. Estas aplicaciones responden a las nuevas necesidades que se esperan de las redes eléctricas del futuro.

### V. AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado en este documento ha sido parcialmente subvencionado por la *Red Iberoamericana en Hidroenergía de Pequeña Escala*, REDHIDRO (proyecto 716RT0516), financiada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

### REFERENCIAS

- [1] European Comision. "New Era for Electricity in Europe. Distributed Generation: Key Issues, Challenges and Proposed Solutions". Disponible online: <http://www.smartgrids.eu/documents/New-ERA-for-Electricity-in-Europe.pdf>
- [2] European Commission, "European Smart Grid Technology Platform—Vision and Strategy for European Electricity Networks of the Future," <http://www.smartgrids.eu/web/node/28/default.asp>, 2010.
- [3] Farhangi, H., "The path of the smart grid," *Power and Energy Magazine, IEEE*, 8, 1, 18,28, 2010
- [4] Hatzigiargyriou, N.; Asano, H.; Iravani, R. y Marnay, C. "Microgrids," *IEEE Power and Energy Magazine*, 5, 4, 78–94, 2007.
- [5] Lavery D. M., Morrow D. J., Best R. y Crossley P. A., "Telecommunications for smart grid: Backhaul solutions for the distribution network". In *Power and Energy Society General Meeting, IEEE* (1-6), 2010.
- [6] Yan Y., Qian Y., Sharif H. y Tipper D., "A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges". *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 15, 1, 2013.
- [7] Gao J., Xiao Y., Liu J., Liang W. y Chen C., "A survey of communication/networking in Smart Grids". *Future Generation Computer Systems*, 28(2), 391-404, 2012.
- [8] Hossain, M.R.; Oo, A.M.T.; Ali, A.B.M.S., "Evolution of smart grid and some pertinent issues", in *Proceedings of the 20th Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC)*, Christchurch., 6, 5–8, 2010.
- [9] Farhangi, H., "The path of the smart grid". *IEEE Power Energy Mag.* 2010, 8, 18–28.
- [10] Parikh, P.P.; Kanabar, M.G.; Sidhu, T.S., "Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications," *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 1,7, 25-29 2010.
- [11] PRIME Project, "Technology Whitepaper: PHY, MAC and Convergence layers". PRIME Alliance, 2008. Disponible online: [http://www.prime-alliance.org/wpcontent/uploads/2014/10/PRIME-Spec\\_v1.4-20141031.pdf](http://www.prime-alliance.org/wpcontent/uploads/2014/10/PRIME-Spec_v1.4-20141031.pdf).
- [12] Gao, C. y Redfern, M. A., "A Review of Voltage Control in Smart Grid and Smart Metering Technologies on Distribution Networks," *Universities' Power Engineering Conference (UPEC)*, *Proceedings of 2011 46th International*, vol., no., pp.1,5, 5-8, 2011
- [13] Ancillotti, E.; Bruno, R. y Conti, M., "The role of communication systems in smart grids: Architectures, technical solutions and research challenges," *Computer Communications*, 36, 17–18, 1665-1697, 2013.
- [14] Kuzlu, M.; Pipattanasomporn, M. y Rahman, S., "Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN." *Computer Networks* 67, 74-88, 2014.
- [15] Grigoras, G. y Scarlatache, F., "Use of data from smart meters in optimal operation of distribution systems," *Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM)*, 2014 *International Conference on*, 179,184, 22-24, 2014.
- [16] Zengquan, Y.; Haiping, V.; Huachun, H. y Yingjie, Z., "Research of bidirectional smart metering system for EV charging station based on ZigBee communication," *Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 2014 *IEEE Conference and Expo*, 1,5, 2014.
- [17] Depuru, S.S.S.R.; Lingfeng, W. y Devabhaktuni, V., "A conceptual design using harmonics to reduce pilfering of electricity," *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 1,7, 25-29, 2010.

# Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas

Câmara Municipal de Bragança

**Rafael Sobrinho Correia**

Divisão de Ambiente, Águas e Energia  
Município de Bragança  
Portugal  
rcorreia@cm-braganca.pt

**Esmeralda Rocha de Aragão**

Divisão de Planeamento, Infraestruturas e Urbanismo  
Município de Bragança  
Portugal  
aragao@cm-braganca.pt

**Resumo** — A Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas (EMAAC) pretende promover, em todo o território municipal, uma resposta coerente às múltiplas problemáticas relacionadas com as alterações climáticas e colocar o município na linha da frente a nível nacional, no que diz respeito a estas matérias.

As projeções climáticas para o município de Bragança apontam, entre outras alterações, para uma potencial diminuição da precipitação total anual e para um potencial aumento das temperaturas, em particular das máximas entre o verão e o outono, intensificando a ocorrência de verões mais quentes e secos. É projetado, ainda, um aumento da frequência de ondas de calor e de eventos de precipitação intensa ou muito intensa.

Esta EMAAC foca-se na identificação de opções e ações de adaptação planeada que visem promover a minimização dos efeitos das alterações climáticas. A partir da identificação e priorização das atuais vulnerabilidades e riscos climáticos e da sua projeção até ao final do século, o município de Bragança procura promover um conjunto integrado de opções de adaptação para responder não apenas ao clima futuro, mas igualmente aos diferentes impactos climáticos já observados.

**Keywords**—*Alterações Climáticas; Vulnerabilidades; Riscos; Impactes; Adaptação; Minimização.*

## I. INTRODUÇÃO

O Município de Bragança considera as alterações climáticas como um dos desafios mais importantes do século XXI.

Estas alterações poderão implicar um conjunto de impactos sobre o território municipal bem como sobre os sistemas naturais e humanos que o compõem. Mesmo na presença de respostas fundamentadas na adaptação planeada aos cenários climáticos futuros, existirão sempre riscos climáticos que irão afetar o município em múltiplos aspetos ambientais, sociais e económicos. Torna-se por isso fundamental a análise, desenvolvimento e implementação de um conjunto coerente e flexível de opções de adaptação que permitam ao município estar melhor equipado para lidar com os potenciais impactos das alterações climáticas, bem como tomar partido de potenciais oportunidades.

A EMAAC de Bragança constitui um instrumento a ser revisto e atualizado, com base na evolução do conhecimento científico e das práticas de adaptação às alterações climáticas. Sendo esta a primeira estratégia do género no município pretende-se que seja um ponto de partida para o contínuo desenvolvimento de políticas territoriais coerentes, baseadas nas necessidades dos diferentes grupos populacionais e setores económicos e que permita um real reforço da resiliência climática do município e de quem nele habita ou visita.

Apesar desta EMAAC se centrar necessariamente em questões relacionadas com a adaptação, o município reconhece que é igualmente essencial a adoção de respostas de mitigação, ou seja, de ações que promovam a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE). Assim sendo o município promoverá, sempre que possível, a adoção de opções de adaptação que promovam igualmente a mitigação e que fomentem ‘o correto planeamento e desenvolvimento de uma sociedade e economia resiliente, competitiva e de baixo carbono’, tal como preconizado pela Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas 2020 (ENAAAC 2020) [1].

## II. METODOLOGIA

A EMAAC foi desenvolvida no âmbito projeto ClimAdaPT.Local<sup>1</sup>. O processo seguiu uma metodologia de base designada por ADAM (Apoio à Decisão em Adaptação Municipal) [2], que guiou a elaboração desta estratégia, ao longo de um conjunto de etapas e tarefas específicas. Esta metodologia foi especialmente adaptada à realidade portuguesa a partir do modelo desenvolvido pelo UKCIP (UK Climate Impacts Programme)<sup>2</sup>.

A partir da análise e consideração das principais necessidades em termos de tomada de decisões de adaptação à escala municipal, esta metodologia procurou responder a duas questões-chave:

1) *Quais os principais riscos climáticos que afetam ou poderão vir a afetar o território municipal e as decisões da CM de Bragança?*

<sup>1</sup> <http://climadapt-local.pt/>

<sup>2</sup> <http://www.ukcip.org.uk/wizard/>



## 2) Quais as principais ações de adaptação necessárias e disponíveis para responder a esses riscos climáticos?

Os seis passos do ciclo ADAM são:

1. Preparar os trabalhos;
2. Identificar vulnerabilidades atuais;
3. Identificar vulnerabilidades futuras;
4. Identificar opções de adaptação;
5. Avaliar opções de adaptação;
6. Integrar, monitorizar e rever.

### III. ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

O Município de Bragança localiza-se no nordeste de Portugal, e tem um clima mediterrâneo, do tipo Cs (temperado com verão seco) segundo a classificação de Köppen-Geiger<sup>3</sup>

As principais alterações climáticas projetadas para o município de Bragança são apresentadas de forma resumida na Fig. 1.





Variável climática	Sumário	Alterações projetadas
	Diminuição da precipitação média anual	<p><b>Média anual</b> Diminuição da precipitação média anual, podendo variar entre 1% e 20% no final do séc. XXI.</p> <p><b>Precipitação sazonal</b> Nos meses de inverno não se verifica uma tendência clara (podendo variar entre -15% e +15%), projetando-se uma diminuição no resto do ano, que pode variar entre 2% e 25% na primavera e entre 2% e 32% no outono.</p> <p><b>Secas mais frequentes e intensas</b> Diminuição do número de dias com precipitação, entre 9 e 24 dias por ano. Aumento da frequência e intensidade das secas no sul da Europa [IPCC, 2013].</p>
	Aumento da temperatura média anual, em especial das máximas	<p><b>Média anual e sazonal</b> Subida da temperatura média anual, entre 2°C e 5°C, no final do século. Aumento acentuado das temperaturas máximas no verão e outono (entre 2°C e 6°C).</p> <p><b>Dias muito quentes</b> Aumento do número de dias com temperaturas muito altas (&gt; 35°C), e de noites tropicais, com temperaturas mínimas &gt; 20°C.</p> <p><b>Ondas de calor</b> Ondas de calor mais frequentes e intensas.</p>
	Diminuição do número de dias de geada	<p><b>Dias de geada</b> Diminuição acentuada do número de dias de geada.</p> <p><b>Média da temperatura mínima</b> Aumento da temperatura mínima, entre 1°C e 3°C no inverno, sendo maior (entre 2°C e 6°C) no verão.</p>
	Aumento dos fenómenos extremos de precipitação	<p><b>Fenómenos extremos</b> Aumento dos fenómenos extremos, em particular de precipitação intensa ou muito intensa (projeções nacionais) [Soures et al., 2015]. Tempestades de inverno mais intensas, acompanhadas de chuva e vento forte (projeções globais) [IPCC, 2013].</p>

Fig. 1. Resumo das principais alterações climáticas projetadas para o município de Bragança até ao final do século

### IV. IMPACTOS E VULNERABILIDADES ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

As alterações climáticas poderão vir a traduzir-se num diversificado conjunto de impactos, vulnerabilidades e riscos. No entanto, o município apresenta já um conjunto de vulnerabilidades e uma capacidade de resposta (ou capacidade adaptativa) ao clima atual que não deverá ser negligenciada.

No âmbito desta estratégia é portanto importante compreender melhor quais as principais vulnerabilidades climáticas, atuais e futuras, bem como a sua atual capacidade de resposta.

#### A. Impactos e vulnerabilidades observadas

Após identificação os principais eventos relacionados com o clima e respetivos impactos, procurou-se inventariar as principais vulnerabilidades climáticas a que o município já se encontra exposto, com particular atenção para a localização das áreas especialmente afetadas e potencialmente prioritárias em termos de intervenção.

O levantamento dos eventos climáticos adversos que afetaram o município de Bragança nos últimos 15 anos (2000-2014) foi realizado através de uma pesquisa exaustiva em relatórios e registos internos dos serviços municipais, artigos científicos, imprensa local, regional e nacional, recolha de informação junto de outras entidades, dados e relatórios do IPMA, entre outros relatórios técnicos e teses académicas.

Os resultados obtidos indicam que os principais impactos climáticos observados no município estão geralmente associados aos seguintes eventos climáticos:

- Precipitação excessiva/ inundações;
- Secas;
- Temperaturas elevadas/Ondas de calor;
- Gelo/Geada/Neve;
- Neblina ou nevoeiro.

#### B. Impactos e vulnerabilidades projetadas

As alterações climáticas projetadas e descritas poderão agravar, minorar ou manter as atuais vulnerabilidades climáticas. Estas alterações poderão ainda potenciar o aparecimento e desenvolvimento de outras vulnerabilidades e riscos, nas áreas e setores já afetados atualmente ou em novas áreas e setores. A evolução e interação entre os fatores climáticos e não-climáticos (sociais, demográficos, ocupação do território, planeamento, entre outros) são de particular importância uma vez que podem alterar as condições de exposição e sensibilidade a eventos climáticos futuros.

Foram identificadas as principais alterações climáticas com potencial relevância para o município de Bragança e, desta forma, identificar e compreender melhor de que forma a vulnerabilidade climática atual do município poderá ser modificada no futuro. Assim, procurou-se promover os seguintes aspetos:

- Identificação dos principais eventos climáticos (diretos e indiretos) que poderão afetar o município, tendo em atenção as projeções climáticas;
- Identificação e descrição dos principais impactos das alterações climáticas tanto em termos de impactos negativos (ameaças), como positivos (oportunidades);
- Identificação e avaliação dos riscos climáticos que o município já enfrenta (riscos climáticos atuais prioritários) e o seu potencial agravamento ou

<sup>3</sup> <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>

desagravamento em cenários de alterações climáticas (riscos climáticos futuros prioritários);

- Identificação de riscos não climáticos e sua importância relativamente aos riscos climáticos;
- Consciencialização sobre as incertezas associadas às projeções climáticas (cenários climáticos) e sua influência na tomada de decisão em adaptação.

#### 1) *Impactos negativos*

Os resultados obtidos indicam que os principais impactos climáticos negativos diretamente projetados para o município poderão vir a estar associados a:

##### a) *Precipitação excessiva/cheias/inundações*

- Acidentes de viação; Inundações em estabelecimentos, habitações, ruas e estradas; Deslizamento de terras e colapso de edifícios devolutos.

##### b) *Temperaturas elevadas/Ondas de calor*

- Incêndios florestais; Destruição da vegetação, queimaduras da pele, falta de alimento para animais; Degradação das condições de saúde.

##### c) *Secas*

- Incêndios florestais; Redução de água no solo; Stress hídrico das plantas; Redução da água nos rios e barragens (condicionamentos no consumo humano e animal), falta de pastagens.

##### d) *Gelo/Geada/Neve*

- Acidentes de viação; Encerramento de escolas e outras infraestruturas importantes para a população; Incêndios urbanos provocados por braseiras e lareiras; Complicação para a saúde como hipotermias e queimaduras provocadas pelo frio; Quedas; Isolamento de localidades, turistas e desportistas de montanha.

##### e) *Neblina ou nevoeiro*

- Acidentes de viação; Obstrução visual; Formação de sinelo quando associado a temperaturas negativas.

Relativamente a impactos negativos indiretos identificados como relevantes para o município, realçam-se os:

- Destruição de vegetação;
- Corte de vias devido ao alagamento e deslizamento de terras;
- Destruição de vegetação;
- Alteração no ritmo de vida das populações;
- Opção por culturas agrícolas resistentes
- Alteração e renovação dos métodos de cultivo tradicionais;
- Deterioração da qualidade dos recursos hídricos superficiais
- Piso escorregadio;

- Aumento do consumo de eletricidade e gás para o aquecimento;
- Rotura de stock de medicamentos nos hospitais e farmácia.
- Encerramento do Aeródromo – condicionalismos no tráfego aéreo.

O quotidiano das populações também será fortemente afetado por estes episódios sobretudo no que respeita à mobilidade, sendo que a população economicamente mais desfavorecida continuará a ser aquela que apresenta maior vulnerabilidade. As comunidades/grupos sociais especialmente vulneráveis às mudanças climáticas futuras são as mais desfavorecidas economicamente e a população mais idosa.

### V. IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE RESPOSTAS DE ADAPTAÇÃO

Apresentados os resultados da análise dos principais impactos, vulnerabilidades e riscos climáticos, assim como a sua potencial evolução futura tendo em conta cenários de alterações climáticas e a sua interação com fatores não-climáticos de relevância para o município, importa agora analisar um conjunto de opções de adaptação a esses impactos, vulnerabilidades e riscos climáticos. Estas opções foram inventariadas e caracterizadas sendo posteriormente avaliadas, discutidas com os agentes-chave locais e priorizadas pelo município.

#### A. *Identificação de opções de adaptação*

O processo de seleção das opções de adaptação para o município de Bragança, consistiu na identificação e caracterização de medidas, iniciativas ou projetos que possam responder às principais necessidades, objetivos, vulnerabilidades e riscos climáticos (atuais e futuros), a que o município já se encontra, ou possa vir a ser, exposto. Numa primeira fase, foi realizado um levantamento das diversas iniciativas e projetos que a autarquia já se encontra a implementar, e avaliado o respetivo potencial de adaptação, face ao pretendido no âmbito de definição da EMAAC de Bragança. Foi ainda efetuada uma pesquisa bibliográfica, tendo por base as referências fornecidas pelo consórcio do projeto ClimAdaPT.Local e que incluiu exemplos de boas práticas, iniciativas e medidas implementadas e testadas noutros locais e países, assim como a análise de outras estratégias relativas à temática das alterações climáticas, elaboradas por outros municípios nacionais.

Os principais critérios utilizados na caracterização das opções de adaptação selecionadas foram:

##### 1) *Tipo de ação/opção*

- Infraestruturas Cinzentas;
- Infraestruturas Verdes;
- Opções Não Estruturais ('soft');

2) *Âmbito*

- Melhorar a Capacidade Adaptativa;
- Diminuir a Vulnerabilidade e/ou Aproveitar Oportunidades;

3) *Setores-chave abrangidos pela opção;*

- Agricultura, Florestas e Pescas;
- Biodiversidade;
- Energia e Indústria;
- Ordenamento do Território e Cidades;
- Recursos Hídricos;
- Saúde Humana;
- Segurança de Pessoas e Bens;
- Turismo;

4) *Principais tipologias de eventos climáticos, impactos e consequências para os quais a opção de adaptação é relevante como resposta;*

5) *Objetivos a que a opção responde;*

6) *Potenciais barreiras à implantação da opção;*

7) *Atores-chave para a implementação da opção;*

O processo de identificação e caracterização de potenciais opções de adaptação que permitam ao município responder aos impactos, vulnerabilidades e riscos climáticos identificados nas análises efetuadas nos passos anteriores, permitiu elaborar uma lista de 14 opções que são apresentadas Tabela 1. Estas foram posteriormente discutidas com os atores-chave locais (ou com intervenção relevante no município), de forma a enriquecer a sua caracterização e a enquadrar a sua futura implementação.

TABLE I. IDENTIFICAÇÃO DAS OPÇÕES DE ADAPTAÇÃO

ID	Opções da Adaptação
1	Elaborar e Implementar um plano anual de ações de informação, sensibilização e formação da população.
2	Adoção de políticas locais e processos na autarquia para a adaptação das alterações climáticas.
3	Elaboração e Implementação de Plano de Monitorização, avaliação e vigilância dos principais impactos inventariados.
4	Promover a limpeza e regularização das linhas de água, mantendo uma vegetação ripícola adequada.
5	Reabilitação de ribeiras, galerias ripícolas, zonas húmidas e corredores verdes
6	Melhorar o uso eficiente da água, reduzindo desperdícios e criando alternativas de fornecimento de água (ex. retenção de água pluvial)
7	Melhoramento das condições de escoamento em zonas críticas e criação de regras específicas para as zonas potenciais de cheias, inundações e ventos fortes (licenciamento)
8	Operacionalização do Plano Municipal de Defesa Contra Incêndios
9	Promover o ordenamento florestal e a sua gestão
10	Promover a plantação com espécies autóctones, mais adaptadas e menos combustíveis, criando a diversidade de espécies e mosaicos de gestão de combustível

ID	Opções da Adaptação
11	Gestão de áreas protegidas e classificadas
12	Adaptação da agricultura de subsistência e explorações agropecuárias ao clima seco prolongado
13	Opção por pavimentos resistentes à neve e gelo
14	Aquisição de meios de previsão, sinalização e de resposta a eventos climáticos como a Neve o Gelo

ID – Número de Identificação da Opção de Adaptação

## VI. ANÁLISE CRÍTICA DA PRIORIZAÇÃO DAS OPÇÕES

Embora se assuma que a maioria das opções dão resposta às principais vulnerabilidades identificadas, não é possível ainda assim, descartar a necessidade de uma análise mais rigorosa em relação à prioridade de implementação de algumas opções.

Começando pela análise aos critérios, as opções que obtiveram maior pontuação no critério de *eficácia* foram as opções:

- Elaboração e Implementação de Plano de Monitorização, avaliação e vigilância dos principais impactos inventariados (4,50);
- Operacionalização do Plano Municipal de Defesa Contra Incêndios (4,50);

Já em termos de *eficiência*, a maior pontuação foi atribuída às opções seguintes:

- Aquisição de meios de previsão, sinalização e de resposta a eventos climáticos como a Neve o Gelo (4,25);
- Elaboração e Implementação de Plano de Monitorização, avaliação e vigilância dos principais impactos inventariados (4,25);

No critério *equidade* realça-se a opção:

- Gestão de áreas protegidas e classificadas (3,75).

Quanto ao critério *flexibilidade*, o destaque vai para as opções:

- Elaborar e Implementar um plano anual de ações de informação, sensibilização e formação da população (4,00);
- Aquisição de meios de previsão, sinalização e de resposta a eventos climáticos como a Neve o Gelo (4,00);

No que respeita à avaliação da *legitimidade* evidenciou-se a opção:

- Elaborar e Implementar um plano anual de ações de informação, sensibilização e formação da população (4,25);

O critério *urgência* evidenciou a opção;

- Elaborar e Implementar um plano anual de ações de informação, sensibilização e formação da população (4,75);

A avaliação deste critério apresenta ainda 2 outras opções, que com uma pontuação imediatamente inferior, não as torna menos importantes:

- Elaboração e Implementação de Plano de Monitorização, avaliação e vigilância dos principais impactos inventariados (4,50);
- Adoção de políticas locais e processos na autarquia para as adaptações às alterações climáticas (4,50);

Por fim, no critério *sinergias* realça-se a importância da opção:

- Elaborar e Implementar um plano anual de ações de informação, sensibilização e formação da população (4,50);

Da análise dos resultados da avaliação multicritério permite concluir que a classificação geral das opções resultou numa hierarquização das opções de adaptação prioritárias para o município. Contudo, considera-se que algumas das opções hierarquicamente menos bem posicionadas nesta análise, pelo seu carácter transversal e de efeito a médio e longo prazo, merecem uma posterior análise aprofundada com vista à sua implementação a curto-médio prazo, nomeadamente.

- Melhorar o uso eficiente da água, reduzindo desperdícios e criando alternativas de fornecimento de água (ex. retenção de água pluvial);
- Gestão de áreas protegidas e classificadas.

## VII. FATORES CONDICIONANTES E POTENCIADORES

Os fatores potenciadores são condições já existentes e que constituem, ou podem vir a constituir, uma mais-valia para a implementação da opção de adaptação.

Como resultado deste trabalho foram identificados, para cada opção de adaptação, um conjunto potencial de fatores condicionantes e potenciadores que deverão ser levados em linha de conta em termos da sua implementação futura e que permitiram complementar a análise de barreiras à implementação das opções promovida pelo município - Tabela 2.

TABLE II. PRINCIPAIS FATORES CONDICIONANTES E POTENCIADORES DAS OPÇÕES DE ADAPTAÇÃO AVALIADAS PARA O MUNICÍPIO DE BRAGANÇA

ID	Fatores condicionantes (Exemplos)
1	Falta de envolvimento da população em geral e das mulheres e idosos em particular; Resistência à mudança de comportamentos (população envelhecida e pouco escolarizada); Falta de recursos financeiros
2	Resistência à mudança (individual e institucional); Efeitos das alterações climáticas na saúde pública (impacto das ondas de

ID	Fatores condicionantes (Exemplos)
	calor e de frio nas populações vulneráveis); Dificuldade em identificar edifícios suficientemente frios para apoiar os planos de contingência às ondas de calor; Falta de conforto térmico no edificado ("casas doentes", não respiráveis); Reabilitação do edificado ineficaz devido à falta de manutenção/ventilação pelos residentes; Falta de medidas que promovam urbanismo bioclimático e a resiliência urbana; Custo associado a soluções bioclimáticas.
6	Custos elevados; Muitos furos estão a ficar sem água (captações subterrâneas para rega podem comprometer o abastecimento público); Fontes e nascentes sem água/secas afetam rios e ribeiras (ex: Rio Penacal); Perdas elevadas de água da rede de abastecimento nas zonas rurais (infraestrutura desatualizada); Estímulo excessivo ao consumo de água (financiamentos europeus à agricultura); Disponibilidade de água cada vez mais irregular; Barragens não garantem abastecimento em todas as zonas rurais; Falta de financiamentos europeus para melhorar a eficiência das redes de abastecimento de água potável; Infraestruturas desadaptadas para a realidade de escassez de água (no verão bombeiros têm de distribuir águas pelas aldeias com autotanques); Falhas de abastecimento de água recorrentes; Pouca aceitação pelos municípios; Complexidade institucional; Diminuição da qualidade da água (contaminação por nitratos); Preço da água captada por furos é mais elevado do que o preço da água da rede pública, o que incentiva o uso desta última para a rega
ID	Fatores -potenciadores (Exemplos)
1	Exemplos positivos de campanhas já realizadas (ex: campanha de sensibilização contra o desperdício da água); Exemplo mobilizador de boas práticas da autarquia; Existência de redes de proximidade (Juntas de Freguesia) à população, em particular à população mais vulnerável; Mecanismos financeiros disponíveis
2	Plantação de 2500 árvores realizada em 2013; Trabalho desenvolvido IPB (ex: projeto Biourb e estudos associados); Planos de contingência para ondas de calor e de frio já existentes; Plano de vacinação realizado nos lares de idosos; Oportunidade de arborização nativa na cidade; Liderança da CMB nos processos ligados à reabilitação urbana; Mecanismos financeiros disponíveis
6	Oportunidade para realizar levantamento da rede e identificar perdas de água; Oportunidade para identificar e promover boas práticas de rega agrícola e de captação de água; Oportunidade para adaptar o sistema de rega de jardins públicos de forma a reduzir a necessidade de água; Utilização de espécies com menor necessidade de água; Oportunidade para melhorar infraestruturas de armazenamento de água; Oportunidade para aumentar a capacidade de retenção de água através de espaços verdes mais permeáveis; Oportunidade para criar bacias de retenção de águas pluviais; Oportunidade de aproveitamento da água rejeitada das barragens; Potencial subaproveitado das águas da ETAR; Reequacionar e reequilibrar os preços da água; Maior fiscalização nos usos da água.

ID – Número de Identificação da Opção de Adaptação

## VIII. IMPLEMENTAÇÃO E ACOMPANHAMENTO

As ações inventariadas correspondem às opções de adaptação identificadas e avaliadas. Nesta fase foram definidos aspetos como: cronograma, liderança, grau de esforço e potenciais meios de monitorização.

Foi ainda assumido pelo Município a criação de um Conselho Local de Acompanhamento (CLA) como entidade impulsionadora dos necessários processos de implementação, acompanhamento e monitorização das ações de adaptação levadas a cabo no âmbito da EMAAC.

Sendo uma estrutura abrangente de acompanhamento e apoio à decisão. Assumirá como objetivo a mobilização da comunidade local através do empenho e compromisso das diferentes partes que o compõem. Para o efeito a constituição deste conselho incluirá diversos interlocutores públicos, privados e da sociedade civil.

## AGRADECIMENTOS

O projeto ClimAdaPT.Local, no qual se inseriu e se desenvolveu a EMAAC do Bragança, está integrado no Programa AdaPT, gerido pela Agência Portuguesa do Ambiente, IP (APA, IP), enquanto gestora do Fundo Português de Carbono (FPC). O projeto foi ainda cofinanciado pelo EEA Grants.

Como reconhecimento, pela sua intervenção e participação no projeto em questão, salientamos:

- FFCUL – Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa;
- CCIAM –FCUL – Climate Change Impacts, Adaptation and Modelling - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa;
- CEDRU – Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano;
- WE CONSULTANTS;
- QUERCUS – Associação Nacional de Conservação da Natureza;
- ICS – Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa;
- FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa;
- UA – Universidade de Aveiro;
- ICETA/CIBIO – Universidade dos Açores;
- Técnicos do Município de Bragança;
- IPB – Instituto Politécnico de Bragança;
- Juntas de Freguesia e Uniões de Freguesias;
- ICNF - Parque Natural de Montesinho;
- Proteção Civil (regional/local);
- GNR – Guarda Nacional Republicana;
- Bombeiros Municipais;
- Agentes económicos (turismo, construção civil, agropecuária, etc.).

## REFERÊNCIAS

- [1] Agência Portuguesa do Ambiente. Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAAC 2020). Portugal: 2015.
- [2] UKCIP - The UKCIP Adaptation Wizard v 4.0. Oxford, UK: UK Climate Impacts Programme, 2013.
- [3] Avelar, David; Lourenço, Tiago Capela - PECAC - Sector Adaptação. Relatório Final do Plano Estratégico de Cascais face às Alterações Climáticas, Câmara Municipal de Cascais. Lisboa: Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2010.
- [4] EC - An EU Strategy on adaptation to climate change. COM (2013) 216 final. Brussels, Belgium: 2013.
- [5] IPCC - Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. 978-0-521-70597-4.
- [6] IPCC - Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013
- [7] IPCC - Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 2014a.
- [8] IPCC - Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation - Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change First Joint Session of Working Groups I and II, 2012.
- [9] IPCC - Summary for policymakers. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2014b.
- [10] Lopes, T. P. - Potencial de poupança de energia na climatização de edifícios habitacionais. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Gestão de Sistemas Ambientais (p. 163). Lisboa. (2010) Disponível em: <http://run.unl.pt/handle/10362/5014>.
- [11] RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-lei n.º 80/2006, Diário da República, 1.ª série.67 (04-04-06).
- [12] Smit, Barry; Wandel, Johanna - Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. Global Environmental Change. Vol. 16. n.º 3 (2006). p. 282-292.
- [13] Smith, Mark Stafford; Horrocks, Lisa; Harvey, Alex; Hamilton, Clive - Rethinking adaptation for a 4°C world. 2011.
- [14] Soares, Pedro M. M.; Cardoso, Rita M.; Ferreira, João Jacinto; Miranda, Pedro M. A. - Climate change and the Portuguese precipitation: ENSEMBLES regional climate models results. Climate Dynamics. Vol. 45. n.º 7 (2015). p. 1771-1787.

# Performance Evaluation of Different Methods in the Series Resistance Estimation of Photovoltaic Modules

Felipe Albuquerque<sup>1,2</sup>, Vicente Leite<sup>1,3</sup>, Claudinor Bittencourt<sup>2</sup>, José Batista<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa  
Paraná, Brasil

<sup>3</sup> CISE - Electromechatronic Systems Research Centre  
Covilhã, Portugal

albuquerque353@hotmail.com, avtl@ipb.pt, claudinor@utfpr.edu.br, jbatista@ipb.pt

**Abstract**—The efficiency and yield of photovoltaic (PV) systems are directly dependent on the state of health (or degradation) of the PV modules. This paper focuses on the fault and degradation diagnosis of PV modules working under real field conditions. One of the most important parameters for this purpose is the series resistance of a PV module. This paper evaluates the performance of different methods to estimate this parameter. Several experimental measurements of the IV characteristic were achieved under different environmental conditions. Several acquired data sets were processed in order to compare the performance evaluation of three different techniques for the modules series resistance estimation.

**Keywords**—Photovoltaic modules; modelling; fault and degradation diagnosis; series resistance estimation.

## I. INTRODUCTION

The demand of energy is continually growing, along with the concern of the environment. Furthermore the photovoltaic (PV) market grew quickly, since it has low generation costs, accompanied by a long service life of the modules. Some countries are examples in PV installed capacity because governmental policies to improve the industry (feed-in tariffs), such as Germany, Japan and Spain [1] and [2].

Although the large lifetime of the PV systems some studies [1] showed that the PV modules may suffer the environmental effects, appearing problems of power losses and early degradation due to many causes. As a consequence there is an increment in the return of investment time of the PV system [2]. Because of that health diagnosis procedures are important to an efficient system.

In general, the techniques of fault and degradation diagnosis can be made on-line or off-line. While in the off-line method is necessary to disconnect the modules of the system and calculate the indicators under controlled

conditions, in the on-line method the parameters are calculate with the system working [3].

Currently, PV systems working these days, do not have any kind of supervisory mechanism, especially in the small generation stations, where the cost of this mechanism represents a large part of the plant investment [1] and [4].

These mechanisms are really important to PV users, not only to estimate the energy yield, but also to take the appropriate actions, avoid or correct the degradation cause. There are already solar inverters on the market that performs the fault detection and ageing monitoring. Inverters, providing data regarding the energy production is very common.

Some of them already give some diagnosis information. However there is a lack of information about the diagnostic procedures, if they are based just on a power information or whether they use more information and sophisticated indicators [2].

A common consequence of module degradation is the decrease of the maximum power ( $P_{max}$ ) relatively to the initial value in the Standard Test Conditions (STC) and the Fill Factor (FF). One of the most predominant elements responsible for this is the series resistance. The literature presents some investigations in order to develop remote monitoring and fault detection in small PV systems, providing analysis of the equivalent series resistance of the modules [5]. Various methods are used to perform this task [2].

This paper investigates an on-line method and compares different techniques to perform the series resistance monitoring, considering the most diverse environmental conditions, based on the characteristics of the module and IV curve changes.

## II. MODEL OF PV MODULES

## A. Electric model of a PV module

The diagnosis of PV modules is based on a model with a set of parameters, which is used for fault and degradation purposes [6].

Basically, a PV cell is a p-n junction and therefore, it is possible to use diodes in association with resistances to consider the power losses. Consequently, a module is modelled associating PV cells in series or parallel, depending on its structure.

Different models are referred in the literature, although the most used one is the single diode model because of the good relation between accuracy and complexity. In general there are three equivalent models with single diode, ideal, simplified and practical model, as are presented in Fig. 1 [7].

In this paper, the simplified and practical models will be used, with four and the five-parameter models, respectively. Both of them take account the resistance of contacts and power losses due to the series resistance of the module, but just the five-parameters model account the losses due to the leakage current across the junction and the crystal imperfections through the shunt resistance [6].

The corresponding mathematical model that describes the current as a function of the voltage in the PV module is given by the following equation:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{n_p n_s V_t}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

The junction thermal voltage is represented by  $V_t$ , calculated with the equation:

$$V_t = \frac{A \cdot T \cdot k}{q} \quad (2)$$

and:

$I_{ph}$  - photo-current generated;

$I_o$  - dark saturation current;

$R_s$  - series resistance;

$R_{sh}$  - shunt resistance;

$A$  - diode ideality factor;

$n_s$  - number of cells connected in series;

$n_p$  - number of cells connected in parallel;

$q$  - charge of electron ( $1.602 \times 10^{-19} C$ );

$T$  - junction temperature;

$k$  - Boltzmann's constant ( $1.38 \times 10^{-23} J/^{\circ}K$ ).

In case of the simplified model, the equation that describes the current does not have the last term, containing  $R_{sh}$  because it is considered infinite (open circuit).

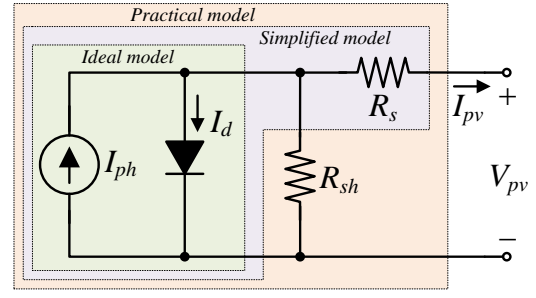


Figura 1. Electric equivalent model.

## B. Parameters extraction using datasheets values

The model parameters can be determined by using values of  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $V_{mpp}$ ,  $I_{mpp}$ ,  $\alpha_{I_{sc}}$  and  $\alpha_{V_{oc}}$  in STC, which are provided by the module's datasheets.

Different strategies can be found in the literature to calculate or estimate these parameters ( $I_o$ ,  $I_{ph}$ ,  $R_s$ ,  $R_{sh}$  and  $V_t$ ) [8], [9] and [2]. In this paper three methods were used, two based on the simplified model and the other based on the practical model. The expressions from the simplified model (4)-(6) are presented in [6], whereas the parameters of the practical model were calculated using expressions presented in [10].

Equation (3) is a widely used approximation in the literature [2], [6], [9] and [10], because  $I_{ph}$  is the light-generated current without influence of series or shunt resistances, i.e. the maximum current available at the terminals.

$$I_{ph} \approx I_{sc} \quad (3)$$

$$I_o = \frac{I_{sc}}{\exp(V_{oc} \cdot V_t^{-1})} \quad (4)$$

$$R_s = \frac{V_{oc} - V_{mpp} + V_t \ln \left( \frac{I_{sc} - I_{mpp}}{I_{sc}} \right)}{I_{mpp}} \quad (5)$$

$$V_t = \frac{(2V_{mpp} - V_{oc})(I_{sc} - I_{mpp})}{I_{mpp} - (I_{sc} - I_{mpp}) \ln \left( \frac{I_{sc} - I_{mpp}}{I_{sc}} \right)} \quad (6)$$

It should be noted that  $R_s$  calculated with (5) is not identical to panel's, effective resistance since it is calculated using the *datasheet* values. It is a model adjustment parameter, and it may even be negative, depending on the properties of the module [6].



## III. ENVIROMENTAL EFFECTS

As mentioned previously, the parameters' values obtained from (3) – (6) are for new modules operating under STC. However, most of the time, the module will be operating in a wide variety conditions. Therefore, in an online diagnosis it is necessary to analyze these environmental effects on these parameters through the IV curve acquisition, or some points of it.

The photocurrent ( $I_{ph}$ ) depends linearly on the solar irradiation and is also change with the cell temperature, as shown in [11] and [12]. Such as  $I_{ph}$ , all parameters suffer environmental effects: diode ideality factor,  $I_o$ ,  $R_s$  and  $R_{sh}$ .

There are many methods proposed in the literature to calculate the parameters under certain conditions of temperature and irradiation ( $T_{act}$ ,  $G_{act}$ ). The following equations were the ones that provided better results according to [2]. The expressions (9) and (10) comes from [12] and [13], respectively, while (7), (8) and (11) were taken from [14].

$$I_{ph} = \frac{G_{act}}{G_{STC}} (I_{ph,STC} + \alpha_{I_{sc}} (T_{act} - T_{STC})) \quad (7)$$

$$A = A_{STC} \cdot \frac{T_{act}}{T_{STC}} \quad (8)$$

$$I_o = \frac{I_{sc,STC} + \alpha_{I_{sc}} \cdot I_{sc,STC} (T_{act} - T_{STC})}{\exp\left(\frac{V_{oc,STC} + \alpha_{V_{oc}} \cdot V_{oc,STC} (T_{act} - T_{STC})}{V_t}\right) - 1} \quad (9)$$

$$R_s = R_{s,STC} \cdot \frac{T_{act}}{T_{STC}} \cdot \left(1 - 0.217 \cdot \ln\left(\frac{G_{act}}{G_{STC}}\right)\right) \quad (10)$$

$$R_{sh} = R_{sh} \cdot \frac{G_{act}}{G_{STC}} \quad (11).$$

## IV. FAULT AND DEGRADATION DIAGNOSIS

Along with the increasing number of PV installed systems, failures rises too and, consequently, the degradation diagnosis is gaining greater importance. A high number of studies based on long-term monitoring of field data from PV plants are available, e.g. [15] and [16], which provide the main causes of degradation. Basically, failures' causes can be from PV modules, inverters and, finally, from components used in the system installation.

The array of PV modules is the core of every photovoltaic system. It represents the power source and any failure in these modules will affect the overall performance [17]. In summary, the failures' types and their effects on a PV module are shown in Table I.

Table I. Fault type and possible effects on IV curve

Fault	Effects on IV curve
Decreased transparency of encapsulation due to: soiling, dust, mismatches or discoloration of plastic encapsulates	Reduced peak power; Decreased FF
Module corrosion	Increased $R_s$
Cells cracking	Increased $R_s$ ; Decreased open circuit voltage

In the literature it is possible to find many ways to monitor the performance of the PV modules. The most used methods are: evaluation of the fill factor (FF) [15], series resistance estimation [9], [2] and [8], and monitoring of the main points in the IV curve ( $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  and  $P_{mpp}$ ). However, different conditions of G and T must be considered, since that curve changes with different conditions. The most promising method is the estimation of  $R_s$ , that provide the best results for a wide range of conditions. Some techniques to estimate  $R_{se}$  have been reported in literature, the main ones are summarized below.

 A. Series resistance estimation using the derivative at  $V_{oc}$ 

One widely used method for  $R_s$  estimation is based on the slope of the IV curve, because it is well-know that a p-n junction's current tends do infinite, being limited only by the internal series resistance, in this case PV module's series resistance, taking account metallic contacts and interconnections [6]. Thus, the series resistance is estimated using the derivative of the voltage in relation to the current at  $V_{oc}$ , i.e.,

$$R_{se} = -\frac{dV}{dI} \Big|_{V \approx V_{oc}} = -\frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \Big|_{V \approx V_{oc}} \quad (12)$$

However, some works shown that the series resistance changes with irradiance and temperature effects, principally working under lowest irradiance values [18]. In [9] a normalization is proposed, which tries to translate the series resistance under STC to actual conditions, as described by the following equation:

$$R_{s,act} = R_{s,STC} + \frac{V_{t,STC}}{I_{sc,STC}} \left( \frac{T_{STC}}{T_{act}} \frac{G_{act}}{G_{STC}} - 1 \right) \quad (13)$$

This method requires at least two points of the IV curve close to open-circuit voltage, as well as the operating conditions, to calculate the discrete derivative. In [9] was used  $dV=1V$ , minimizing the errors introduced by measurement noise.

## B. Incremental resistance estimation

In [2] a method was proposed to quantify the degradation of a PV module, comparing the measurements of the IV curve at the MPP with a theoretical model. The parameters are

calculated using the equations of practical model presented in [10].

First of all,  $I_{sc}$  needs to be measured and, secondly  $T_{act}$  and  $G_{act}$  are estimate using (12) and (13), respectively. After this, it is possible to estimate  $A$ ,  $I_o$ ,  $R_s$  and  $R_h$  through (7) – (11).

An ideal voltage ( $V_{id}$ ) of a new PV module is calculated by solving (16) with help of the Lambert W function, as shown in [19], being is calculated by:

$$V_{id}(I_{mpp}) = -A \cdot V_t \cdot W \cdot \left( \frac{I_o \cdot R_h}{A \cdot V_t} \cdot \exp \left( \frac{R_h}{A \cdot V_t} \cdot (I_{ph} + I_o - I_{id}) \right) \right) - I_{id} \cdot (R_s + R_h) + R_h \cdot (I_{ph} + I_o) \quad (14)$$

With the MPP is possible to calculate the reduction in the voltage, i.e.,  $\Delta V_{mpp}$ , which is defined as the difference between  $V_{id}$  and experimental MPP voltage, as follows:

$$\Delta V_{mpp} = V_{id}(I_{mpp}) - V_{mpp} \quad (15)$$

$$\Delta R_s = \frac{\Delta V_{mpp}}{I_{mpp}} \quad (16)$$

The degradation is quantified by an additional series resistance ( $\Delta R_s$ ), defined as in (18). To estimate  $\Delta R_s$ , it is necessary to measure  $I_{sc}$ ,  $V_{mpp}$  and  $I_{mpp}$ .

### C. Estimation of $R_{se}$ using an analytical expression

Some studies have shown that is possible to calculate  $R_{se}$  using closed-form equations [8], [9] and [10]. In this paper, it was used the expression proposed in [9], due to the best results.

First, it is necessary to measure the main points of the IV curve. Then, the model's parameters have to be calculated by (3) – (6), after this  $R_{se}$  is determined from the following equation:

$$R_{se} = - \frac{dV}{dI} \Big|_{V \approx V_{oc}} = - \left( \frac{V_t}{I_{sc}} + R_s \right) \quad (17)$$

## V. EXPERIMENTAL RESULTS

The three methods described in the previous Section were experimentally evaluated by using the Evergreen EC-115 polycrystalline PV module [20].

Different measurements were made under various irradiation and temperature conditions during a clear-sky days. For each condition, six data acquisition were made, one without any additional resistance and the other five with different additional resistances, placed between the module and the IV curve tracer (PVPM 1000C).

Examples of experimental data of the Evergreen module, under different conditions and various added values ( $R_{add}$  according to Table II) are presented in Fig 2.

It is possible to notice that the same module for the same additional series resistances has different responses depending on the irradiation. As can be seen in Fig. 2, with higher values of irradiance, different values of  $I_{sc}$  are obtained, being inversely proportional to the additional resistance, whereas this does not happen for lower irradiation. However, the bigger  $R_{se}$ , the lower angular coefficient and consequently a reduced  $P_{max}$ , as said previously.

Each acquired data set was processed in Matlab®. In order to obtain more consistent results, the average of three different acquisition under the same conditions and  $R_{add}$  values was made. Then, the main points of the IV curve are extracted, as well as values of  $G_{act}$  and  $T_{act}$  and, finally, the parameters are calculate. Moreover, the evaluation of the methods was made in Excel®, by calculating the difference

TABLE II. ADDITIONAL SERIES RESISTANCES

$R_{add0}$	$R_{add1}$	$R_{add2}$	$R_{add3}$	$R_{add4}$	$R_{add5}$
0 $\Omega$	0.35 $\Omega$	0.52 $\Omega$	0.81 $\Omega$	1.02 $\Omega$	1.49 $\Omega$

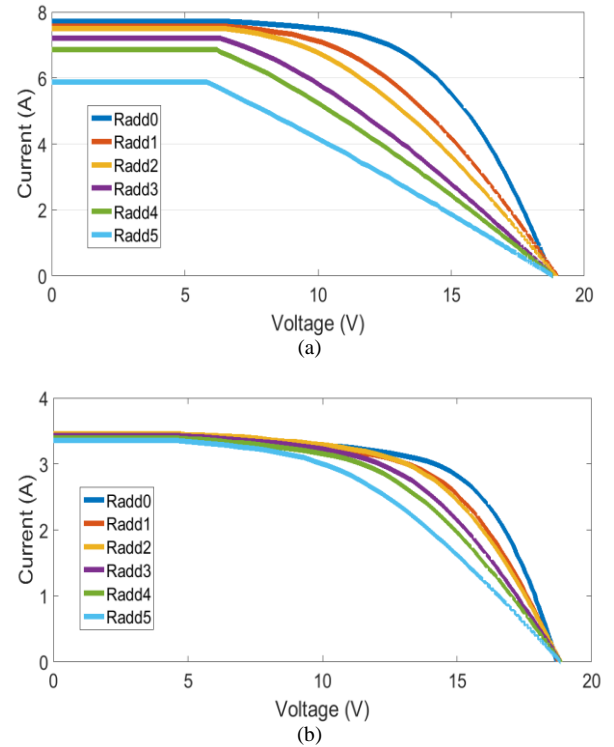


Figura 2. Experimental measurements of the Evergreen module; IV curve for different  $R_{add}$  values given in Table II. (a) Module working under  $G_{act} \approx 1060 \text{ W/m}^2$  and  $T_{act} \approx 47.65 \text{ }^\circ\text{C}$ . (b) Module working under  $G_{act} \approx 540 \text{ W/m}^2$  and  $T_{act} \approx 38.2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

between estimated resistance with an  $R_{add,x}$  and  $R_{add,0}$ , i.e. the resistance increment, which has to be equal to the measured value according to Table II.

The error between the estimated and real values,  $R_{add}$ , was calculated to every point and method. The results presented in Fig. 3 (a), (b) and (c) are from derivative estimation, incremental resistance and analytical estimation respectively.

The experimental results obtained for the derivative method show that it has a good accuracy and a small dependence with irradiance as shown in Fig. 3(a). In the same way, the incremental resistance method shows an error with linear behaviour face to irradiance, due to the consideration of environmental effects on the parameters' model, as can be seen in Fig. 3(b), but with slightly larger errors in comparison to the other two methods.

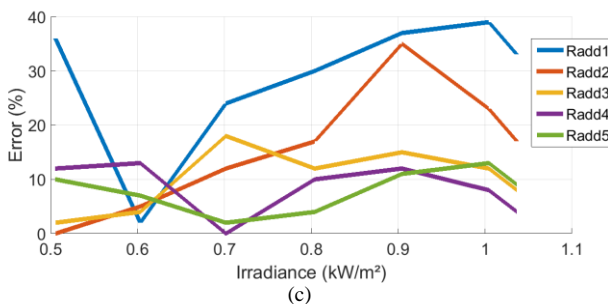
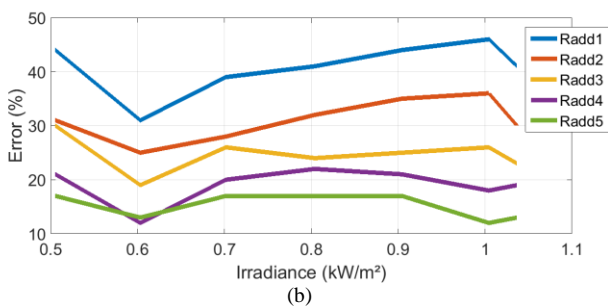
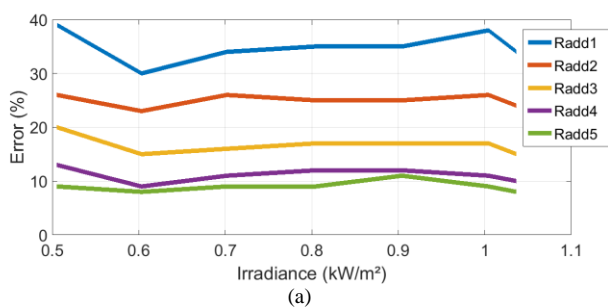


Figura 3. Error of estimated results for different additional resistances ( $R_{add}$ ) according to Table II, under different irradiance values, and using: (a) Derivative method. (b) Incremental resistance. (c) Analytical expression.

On the other hand, the evaluation results of the analytical expression method, presented in Fig. 3(c), shows that it does

not have a good performance even though with lower errors, without any linear behaviour.

It is worth noting that for all methods the higher the value of the additional resistance, the lower the error value. In other words, the more degraded the module, the easier the diagnosis is performed.

## VI. CONCLUSION

Three different methods were investigated in this work for fault and degradation diagnosis of PV modules working under real field conditions. The first is based on the derivative (slope) of the IV curve at open-circuit. The second is based on the increment of the series resistance taking account a theoretical ideal module, and the third one is based on the series resistance estimation using an analytical expression.

The evaluation of these methods was achieved using experimental data acquired in a wide range of irradiation levels (500 – 1060 W/m<sup>2</sup>). Furthermore, several resistance values were added externally in order to verify which of them present the best estimation results.

Analysing the preliminary results, it is possible to notice that the techniques based on the derivative and analytical expression (of the derivative), present the better results, by this order, especially for high resistance values.

More experimental results will be acquired, with different modules, and the conclusions will be improved in the final paper.

## REFERENCES

- [1] M. Munoz, M. Alonso-García, N. Vela and F. Chenlo, "Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions," *Sol. Energy*, vol. 85, n° 9, pp. 2264-2274, Sep. 2011.
- [2] J. Bastidas-Rodríguez, E. Franco, C. A. Ramos-Paja, G. Petrone, and G. Spagnuolo, "Model based indicators to quantify photovoltaic module degradation," in *Proc. 11th Int. Conf. Model. Simul. ELECTRIMACS*, May 2014, pp. 49–54.
- [3] J. D. Bastidas-Rodríguez, G. Petrone, C. A. Ramos-Paja, and G. Spagnuolo, "Photovoltaic modules diagnostic: An overview," in *Proc. 39th Annu. IEEE IECON*, Nov. 2013, pp. 96–101.
- [4] Djordjevic, D. Parlevliet, and P. Jennings, "Detectable faults on recently installed solar modules in Western Australia," *Renew. Energy*, vol. 67, pp. 215–221, Jul. 2014.
- [5] D. Sera, R. Teodorescu and P. Rodriguez, "Photovoltaic module diagnostics by series resistance monitoring and temperature and rated power estimation," in *Proc Industrial Electronics. IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE*, pp. 2195-2199, Nov. 2008.
- [6] D. Sera, "Real-time modelling, diagnostics and optimised MPPT for residential PV systems," Doctoral dissertation, Videnbasen for Aalborg UniversitetVBN, Aalborg UniversitetAalborg University, Det Teknisk-Naturvidenskabelige FakultetThe Faculty of Engineering and Science, Institut for EnergiteknikDepartment of Energy Technology, 2009.
- [7] C. H. Chang, J. J. Zhu, and H. L. Tsai, "Model-based performance diagnosis for PV systems". In *Proc. SICE Annual Conference 2010, Proceedings of IEEE*, pp. 2139-2145, August 2010.
- [8] G. Kunz, and A. Wagner, "Internal series resistance determined of only one IV-curve under illumination," In *19th Photovoltaic Solar Energy Conference Paris*, June 2004.

- [9] D. Sera, and R. Teodorescu, "Robust series resistance estimation for diagnostics of photovoltaic modules," In *Industrial Electronics, 2009. IECON'09. 35th Annual Conference of IEEE*, Nov. 2009, pp. 800-805.
- [10] J. Accarino, G. Petrone, C. A. Ramos-Paja, and G. Spagnuolo, "Symbolic algebra for the calculation of the series and parallel resistances in PV module model," In *Clean Electrical Power (ICCEP), 2013 International Conference on IEEE*, June 2013, pp. 62-66.
- [11] D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, "PV panel model based on datasheet values," In *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on IEEE*, June 2007, pp. 2392-2396.
- [12] M. Villalva, J. Gazoli, and E. Filho, "Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, May 2009.
- [13] J. Bai et al., "Development of a new compound method to extract the five parameters of PV modules," *Energy Convers. Manage.*, vol. 79, pp. 294-303, Mar. 2014.
- [14] W. De Soto, S. Klein, and W. Beckman, "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance," *Sol. Energy*, vol. 80, no. 1, pp. 78-88, Jan. 2006
- [15] S. Kaplanis and E. Kaplani, "Energy performance and degradation over 20 years performance of BP c-Si PV modules," *Simul. Model. Practice Theory*, vol. 19, no. 4, pp. 1201-1211, Apr. 2011.
- [16] L. Cristaldi et al., "Diagnostic architecture: A procedure based on the analysis of the failure causes applied to photovoltaic plants," *Measurement*, vol. 67, pp. 99-107, Feb. 2015.
- [17] S. Ferrari, M. Lazzaroni, V. Piuri, A. Salman, L. Cristaldi and M. Faifer, "A data approximation based approach to photovoltaic systems maintenance," In *Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS) IEEE Workshop*, pp. 1-6, Sep. 2013.
- [18] J. del Cueto, "Method for analyzing series resistance and diode quality factors from field data of photovoltaic modules," *Solar Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 55, n°3, pp. 291-297, Aug. 1998.
- [19] J. Bastidas, E. Franco, G. Petrone, C. Ramos-Paja, and G. Spagnuolo, "A model of photovoltaic fields in mismatching conditions featuring an improved calculation speed," *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 96, pp. 81-90, Mar. 2013.
- [20] Evergreen Solar, EC-115-GL. [Online]. Available: [http://www.maplebb.com/pdf\\_files/Cedar%20Line%20spec%20sheet.pdf](http://www.maplebb.com/pdf_files/Cedar%20Line%20spec%20sheet.pdf)

# Protótipo Acadêmico de uma Turbina Tesla com enfoque em reaproveitamento de Recursos

## Academic Prototype of a Tesla Turbine with Focus on Resource Reuse

Fernando Almeida Santos  
Pontifícia Universidade Católica  
São Paulo, Brasil  
[almeidasantos@puccsp.br](mailto:almeidasantos@puccsp.br)

Robson Alves de Souza  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil

Washington Bueno de Oliveira  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil

José Carlos Santos  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil

Kennedy Yoshinori de Souza Yamashita  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil  
[kennedy.yamashita1@gmail.com](mailto:kennedy.yamashita1@gmail.com)

Carlos Alberto de Freitas  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil

Fábio Yoshiaru Noguti  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil

Antonio Carlos S. de Arruda  
Faculdade de Tecnologia - FATEC  
Osasco, Brasil

**Resumo:** O presente trabalho teve como motivação a busca pelo reaproveitamento teórico de recursos que já desempenharam uma determinada função dentro de um processo fabril e eventualmente são descartados por não terem mais uma aplicação dentro do processo. Para demonstrar a possibilidade do reaproveitamento de recursos, a pesquisa teve como objetivo o desenvolvimento de um protótipo acadêmico baseado na patente de turbina idealizada pelo engenheiro Nikola Tesla. Este protótipo foi projetado com o auxílio de um software de parametrização e modelagem em três dimensões. Os testes realizados com o protótipo confirmam seu funcionamento aplicado a geração de energia, usando como fluido de trabalho o ar comprimido à uma pressão controlada de 6 bar o protótipo acoplado a um alternador de bicicleta conseguiu atingir sua eficiência com 4.500 giros por minuto gerando 16 Volts de tensão, conseguindo assim gerar energia para alimentar uma lâmpada.

**Palavras Chave**—Turbina, prototipo, Tesla.component; *formatting; style; styling; insert (key words)*

### I. INTRODUÇÃO

A evolução humana está relacionada diretamente com a criação da ferramenta que proporcionou a exploração dos meios naturais para a produção de novos recursos, onde o trabalho humano foi substituído por trabalho animal, máquinas movidas por recursos hídricos ou vento e pôr fim a criação de

motores, constituindo um ciclo crescente de desenvolvimento e exploração. Por um longo período de tempo a exploração de recursos tem sido feita de forma predatória sem a preocupação com o meio ambiente, mas com a introdução do conceito da sustentabilidade, o homem está buscando o desenvolvimento de novas tecnologias que possam reverter esse quadro.

O conceito mais usual de promover a sustentabilidade é a reutilização de recursos ou materiais, que por muito tempo foram desperdiçados por um uso descontrolado ou por não se conhecer novas formas para uma nova aplicação.

Sendo assim esse trabalho tem como objetivo demonstrar em escala, através de um protótipo acadêmico de turbina, a possibilidade de captação de recursos que após terem desempenhado suas funções dentro de um processo fabril, não são mais utilizados.

Atualmente a prática de métodos e processos sustentáveis deixou de ser abordada por muitas empresas apenas como um aspecto diferencial em suas atividades e passará a ser tratada como uma questão de sobrevivência, não apenas uma maneira de reduzir custos, mas uma nova abordagem de marketing para a captação de novos clientes.

Para o desenvolvimento do projeto foram realizadas pesquisas bibliográficas pertinentes ao tema apresentado, e um

estudo de campo para a coleta de dados sobre os sistemas utilizados em um processo fabril (sistema de ar comprimido, sistema hidráulico).

#### 2. Sustentabilidade

O termo sustentabilidade começou a ser discutido mundialmente em junho 1972 com a Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente Humano (*United Nations Conference on the Human Environment* - UNCHE), realizada em Estocolmo. Os assuntos abordados durante a conferência abordavam a importância do meio ambiente e conservação da humanidade.

No Brasil a sustentabilidade começou a ganhar força apenas em 1992 com a realização da Conferência Sobre o Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro, ficando mundialmente conhecida como a “ECO 92”.

Segundo a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (apud *World Wide Fund for Nature* – WWF, 2016), o desenvolvimento sustentável é “o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, garantindo a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro”.

Sendo assim, pode-se definir sustentabilidade como a busca para suprir as necessidades humanas sem gerar escassez de recursos naturais para as gerações seguintes. Ou seja, desenvolvimento sustentável implica em uma economia que apoia o desenvolvimento de materiais que possibilitam o uso dos recursos naturais de forma inteligente e segura.

#### 2.1 Sustentabilidade aplicada a Indústria.

A sustentabilidade aplicada nas indústrias é um assunto muito discutido desde a década de 90, grandes eventos como a ECO 92 e o Protocolo de Kyoto<sup>1</sup> foram responsáveis por incentivar o uso racional da água e energia e a diminuição de poluentes lançados na atmosfera.

O esgotamento de recursos naturais, a poluição do solo e águas subterrâneas por fontes industriais, os acidentes nucleares e químicos (*Three Mile Island, Chernobyl, Bhopal, Seveso, Basileia*, Alasca, Baía de Guanabara, entre outros), os desastres provocados pelo homem (o encolhimento do Mar de Aral, a destruição ambiental na Europa do Leste), o aquecimento global da atmosfera e o efeito estufa, passaram a representar um verdadeiro desafio para a sociedade e para as empresas (SACHS, 1993; SEIFFERT, 2008; EPELBAUM, 2006 apud PEREIRA et al., 2011).

No Brasil o conjunto normativo ISO 14.000 tem como objetivo certificar as indústrias que cumpram os requisitos estipulados pela norma de equilíbrio e proteção ambiental.

---

<sup>1</sup> Protocolo de Kyoto: é um acordo internacional que visa reduzir a emissão de gases poluentes, com isso, diminuir o efeito estufa.

Muitas empresas, além da preocupação com o meio ambiente, estão investindo em práticas sustentáveis com o intuito de melhorar sua imagem com seus clientes e parceiros. Mas essas medidas não devem fazer parte apenas do marketing da empresa, elas devem ser aplicadas buscando resultados práticos e significativos.

O Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE) é uma ferramenta criada pela BM&F Bovespa (Bolsa de Mercadorias e Futuros e Bolsa de Valores do Estado de São Paulo), que visa analisar e comparar as ações de empresas que mantêm práticas e desenvolvimentos sustentáveis e essas informações são repassadas aos fornecedores.

#### 2.2 Energia

A energia é uma grandeza importante da física e pode ser definida de forma objetiva como a capacidade de um corpo, uma substância ou sistema físico de realizar trabalho. Esse princípio está relacionado diretamente com a lei de conservação de energia, que diz de forma sucinta que a energia não pode ser criada nem destruída, a energia transforma-se.

Conforme Halliday (2016), a energia fundamentalmente é classificada de duas formas, a primeira é a energia potencial, que é a energia que um corpo ou sistema armazenam mediante a sua posição, forma ou estado, a esse princípio estão relacionadas as energias, potencial gravitacional, química, elétrica e nuclear. A segunda classificação é a energia cinética que pode ser relacionada ao movimento ou dissipação de calor.

#### 2.3 Turbina de Tesla

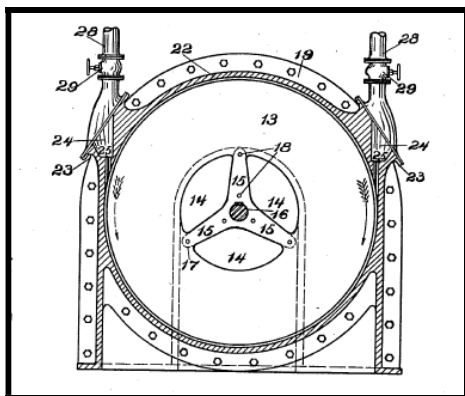
A turbina de Tesla foi idealizada pelo Engenheiro Nikola Tesla em 1909, com a finalidade de otimizar a utilização de um fluido como fonte de energia, e minimizar os defeitos causados pelos componentes de uma turbina convencional.

Nas formas de aparelhos até então elaborados ou propostos, mais ou menos súbita mudanças, choques e vibrações são inevitáveis. Além disso, o emprego de dispositivos usuais para transmitir a, ou obtenção de energia a partir de um fluido, como pistões, pás, pás e lâminas, necessariamente, podem introduzir numerosos defeitos e limitações, e contribui para a complicação, custo de produção e manutenção das máquinas (TESLA, 1913, p. 1).

Para eliminar o choque direto e minimizar o atrito entre o fluido e a as pás dos rotores das turbinas, Nikola Tesla desenvolveu um rotor sem aletas ou pás, utilizando apenas discos paralelos com um pequeno espaçamento entre eles. O fluido é injetado tangencialmente para dentro da câmara do rotor entrando em atrito direto com as bordas dos discos, o escoamento do fluido assumirá um movimento centrípeto em relação ao eixo da turbina até os orifícios de saída. Portanto, o torque do rotor está diretamente relacionado ao escoamento e

o atrito do fluido em contato com os discos, representado na figura 1.

Figura 1: Desenho técnico da Turbina de Tesla



Fonte: TESLA, 1913. (fig. 1).

Outra função da turbina de Tesla é sua aplicação como bomba de sucção. As duas funções empregadas ao equipamento se diferem pelo tipo de energia de acionamento aplicada, quando utilizado um fluido (líquido, ar comprimido, etc.), ejetado no orifício de entrada (indicação 28, figura 1), o fluido aplicará uma força rotativa de arrasto nos discos que será transformada em trabalho pelo eixo (indicação 16, figura 1). Quando esse princípio é invertido com a aplicação de uma força cinética no eixo a turbina adota a função de uma bomba, o movimento de rotação dos discos gera uma força de sucção na parte lateral do equipamento e é expelido pela tubulação de entrada.

### 3 Procedimentos Experimentais

Para o desenvolvimento do projeto foram realizadas pesquisas exploratórias pertinentes ao tema desenvolvido. Para elaborar o projeto do protótipo foi utilizado como referencial teórico a patente de turbina número 1.061.206, registrada em nome do Engenheiro Nikola Tesla em maio de 1913, também foi utilizado o artigo de PLACO 2010, como complemento teórico. Para projetar o protótipo da turbina foi utilizado o *software CAD (computer aided desing) SolidWorks* que pode ser definido como um programa capaz de criar corpos sólidos em três dimensões a partir da parametrização de esboços em um plano estipulado. Com o *software* também foi possível avaliar parâmetros como: materiais, montagem dos componentes, rolamentos, parafusos e travas.

Para a construção do protótipo foram definidos os seguintes materiais:

- Ferro fundido fofo nodular, utilizado no bloco e tampas laterais;
- Latão, utilizado nos discos internos, discos externos e bico de entrada do fluido;
- Aço 1045, utilizado no eixo;

- Alumínio, utilizado no suporte, flange e espaçadores.

Os elementos de construção mecânica como rolamento, anel elástico, parafusos e soquete de pressão foram utilizados conforme padrões de mercado.

A construção das peças do protótipo foi realizada por processos como usinagem em torno mecânico, corte em serra fita, usinagem em torno convencional, etc.

Para a avaliação do funcionamento da turbina foi utilizada uma pressão de trabalho de 06 bar.

O projeto teve início com o estudo da patente de turbina do Engenheiro Nikola Tesla, em seguida foi dimensionado um novo projeto com o auxílio de *software CAD (SolidWorks)*. Após todos os parâmetros definidos e ajustes realizados em ambiente virtual foi dado início a construção do protótipo.

Para início da construção do protótipo foram definidos os materiais, alguns baseados na patente, como o bloco principal e as tampas mancais construídos em ferro fundido nodular. Os outros materiais como alumínio e latão foram definidos para aplicar características como rigidez evitando o empenamento dos discos que pode ser ocorrido pela alta velocidade de rotação e leveza das buchas e espaçadores de alumínio facilitando o vencimento do ponto de inércia.

O processo teve início com a usinagem do bico de entrada de ar começando com o processo de torneamento. Em seguida foi feito a usinagem da saída de ar na fresadora, e foi feito o encaixe de posicionamento do bico de ar. O próximo procedimento foi à fixação do bico no bloco para ser realizada a usinagem da cavidade do rotor em conjunto com o bico de ar e foi realizada a furação de coordenada de fixação das tampas. O processo de confecção das tampas dos mancais teve início com a usinagem externa e usinagem interna dos alojamentos dos rolamentos. Em seguida foi realizada a usinagem dos rasgos de saída de ar e a furação de coordenada do alojamento dos parafusos.

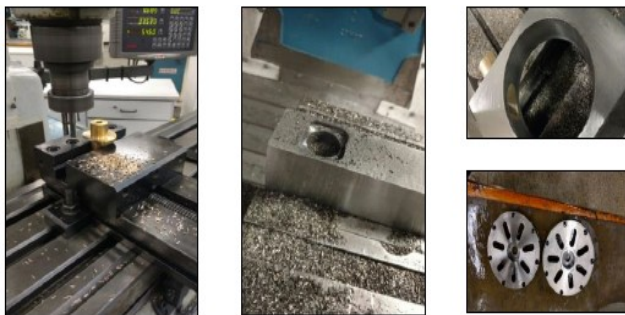
A construção do rotor teve início com a usinagem do eixo em torno convencional. A usinagem da bucha foi realizada em conjunto com o anel de fixação no torno convencional fazendo os perfis interno e externo, em seguida foram estipuladas às coordenadas dos furos de travamento dos discos que foram feitos na fresadora.

A confecção dos discos teve início com sua fixação no platô<sup>2</sup> da fresadora, para realizar a furação central dos discos e a furação das coordenadas das furações de saída de ar e fixação dos discos.

<sup>2</sup> Platô: Equipamento composto por um disco que pode ser rotacionado manualmente com a finalidade de auxilia nas operações de fresagem



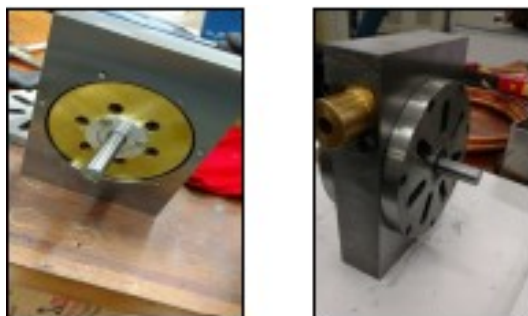
Figura 2: Etapas de Usinagem para construção do protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

Após o término da usinagem de todos os componentes teve início o processo de montagem. Inicialmente foi a fixação da bucha no eixo, em seguida foi feito o posicionamento dos discos e espaçadores de forma intercalada na bucha, tomando o cuidado de posicionar os discos de maior espessura nas extremidades, em seguida foi feito o travamento dos discos.

Figura 3: Protótipo de Tesla



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

#### 4 Análises e Resultados.

Para os testes de desempenho do protótipo foi utilizado um alternador de bicicleta com tensão de 16V, potência de 8W e corrente de 0,5A, com uma pressão de trabalho fixada em 6 bar (usualmente utilizado pela indústria). Com a turbina trabalhando em aberto (sem estar conectada ao gerador de bicicleta), o protótipo atingiu aproximadamente 13.500 RPM, caindo para 10.000 RPM com a conexão entre o alternador e a turbina. Os dados coletados do funcionamento do alternador de bicicleta em função da rotação da turbina estão dispostos na tabela 1.

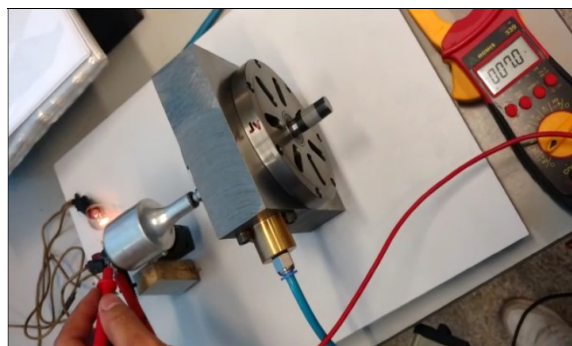
Tabela 1 - Rotação X Tensão.

ROTAÇÃO (RPM)	TENSÃO (V)
1000	4
2000	6,5
4000	14
4500	16

Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

Sendo assim o alternador de bicicleta atinge sua tensão limite de trabalho de 16V com uma rotação de 4.500 RPM, e quando ligado em carga a tensão do alternador de bicicleta diminuiu para 7V, devido a carga aplicada ser maior que a capacidade do alternador de bicicleta, como mostra a figura 4.

Figura 4 - Teste com dinamo em carga.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016.

#### 5 Conclusão

Este trabalho implementa a construção de uma turbina de Tesla com a finalidade de reaproveitamento de recursos dentro de uma empresa. Para isso, foi desenvolvido um protótipo acadêmico com o intuito de formulação de dados e comprovação de seu funcionamento.

O protótipo foi projetado para trabalhar com ar comprimido e provou sua eficiência em testes de funcionamento em diferentes etapas de análises. Em um primeiro momento os testes foram baseados no funcionamento exclusivamente do protótipo, que constatou um baixo torque em seu acionamento inicial e um ganho de força progressivo com o aumento da rotação, sendo assim, o protótipo apresentou certa dificuldade em superar o estado de inércia com uma pressão baixa. Ao superar a inércia inicial podem-se atingir altas rotações chegando até a marca de aproximadamente 14.000 RPM com uma pressão de trabalho de 8 bar e 10.000 RPM com a redução da pressão para 6 bar.

A segunda parte dos testes foi baseada na conversão do trabalho da turbina em energia elétrica, para a realização dos

testes foi acoplado à turbina um alternador de bicicleta com capacidade de 16 V de tensão alternada. A turbina apresentou os mesmos parâmetros de funcionamento do teste realizado anteriormente, ou seja, após conseguir vencer a inércia do conjunto seu ganho de torque é progressivo em relação a rotação. O alternador de bicicleta atingiu sua capacidade de geração de energia com aproximadamente 4.500 giros por minuto, a partir deste ponto começou-se a controlar o giro da turbina para não comprometer a integridade do aparelho. A última etapa dos testes de funcionamento foi o adição de uma carga ao sistema, que apresentou uma queda de tensão de aproximadamente de 9 V, visto que, a amperagem da lâmpada utilizada é maior que a amperagem do alternador de bicicleta, a queda de tensão já era esperada.

O protótipo mostrou-se funcional para os fins do projeto dentro de um ambiente controlado. Para um dimensionamento eficaz de uma turbina aplicável em condições reais de funcionamento, muitos parâmetros ainda precisam ser avaliados com a utilização de outros fluidos como fonte de alimentação, diâmetro e quantidades dos discos, e rendimento.

### Referências

- BM&FBOVESPA. (2016). **Índice de sustentabilidade empresarial**. Disponível em: <[http://www.bmfbovespa.com.br/pt\\_br/produtos/indices/indices-desustentabilidade/indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise-1.htm](http://www.bmfbovespa.com.br/pt_br/produtos/indices/indices-desustentabilidade/indice-de-sustentabilidade-empresarial-ise-1.htm)>. Acesso em: 20 de maio de 2016.
- DOMINGOS, Carlos Oddone, (2001). **Cogeração: uma alternativa para produção de eletricidade**. São Paulo 2001, 88 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) – Universidade de São Paulo Escola Politécnica, São Paulo.
- HALLIDAY, David. **Fundamentos da física**. (2016). Rio de Janeiro: LTC
- ITAIPU. **Energia elétrica**. (2015). Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/energia-hidraulica>>. Acesso em: 03 de outubro de 2015.
- TESLA, Nikola. (1913). In: *United States Patent Office*, 1913, *New York - N. Y.* **Patente número 1.061.206**. *New York, N.Y.*, p. 1 – 5.
- PEREIRA, Gustavo *Menoncin* de Carvalho et al. (2011). Sustentabilidade social: um estudo bibliométrico da evolução do conceito na área de gestão de operações. **Produção**. São Paulo, SP, p. 1 – 10, mar.
- PESQUISA UNIFICADA. (2016). **Patentes de Nikola Tesla**. Disponível em: <<http://www.pesquisa-unificada.com/pesquisas/nikola-tesla/patentes-de-nikola-tesla/>>. Acesso em: 16 de setembro de 2016.
- PLACO, Guilherme Moreira; GUIMARÃES, Lamartine Nogueira Frutuoso; CAMILLO, Giannino Ponchio. (2010). In: IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande - PR. **Parâmetros de funcionamento de uma turbina de tesla operando a ar comprimido**. Campina Grande – PR: ABCM. p. 1 – 10.
- PORTO EDITORA. (2015). Infopédia – Dicionários Porto Editora. **Artigo de apoio, energia (física)**. Porto: Porto Editora. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/\\$energia-\(fisica\)](https://www.infopedia.pt/$energia-(fisica))>. Acesso em 11 de outubro de 2016.
- SUA PESQUISA. **Sustentabilidade Empresarial**. (2016). Disponível em: <[http://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/sustentabilidade\\_empresarial.htm](http://www.suapesquisa.com/ecologiasaude/sustentabilidade_empresarial.htm)>. Acesso em: 20 de maio de 2016.
- TODA MATÉRIA. (2016). **Energia cinética**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-cinetica/>>. Acesso em 30 de setembro de 2016.
- UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE. **Patente número 1.061.206**. Disponível em: <<http://encurtador.com.br/DPV34>>. Acesso em: 16 de setembro de 2016.
- WWF. **Da Teoria a Prática**. (2016). Disponível em: <[http://www.wwf.org.br/participe/porque\\_participar/sustentabilidade/](http://www.wwf.org.br/participe/porque_participar/sustentabilidade/)>. Acesso em: 20 de maio de 2016.



# *Protótipo de veículo movido a energias renováveis*

L. Lourenço  
Engenharia Mecânica  
CEFET/RJ  
Rio de Janeiro, Brasil  
lorhan.veras@hotmail.com

**Resumo** — Este trabalho apresenta o protótipo de um veículo elétrico que utiliza o máximo possível de energias renováveis como combustível, apoiando-se nos conceitos de sustentabilidade. Para um grande aporte final, o veículo contará com três sistemas de carregamento de bateria: um sistema solar fotovoltaico, que será o principal, projetado para carregar a bateria totalmente em poucas horas e dois secundários, um sistema de carregamento que retira energia da frenagem do veículo e um carregador por pedaladas, projeto customizado para o veículo. Por último, ainda existe a possibilidade de carregar a bateria numa tomada convencional através de um carregador de baterias, caso ocorram fatores naturais, como a indisponibilidade de luz solar, ou pessoais, como a impossibilidade de pedalar para carregar a bateria. O veículo também é projetado buscando-se o uso mínimo de consumíveis e o máximo de eficiência energética.

**Palavras-chave**—veículos elétricos, energias renováveis, eficiência energética

## I. INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo, constatou-se que, de uma forma geral, a matriz energética com o predomínio do uso de combustíveis fósseis é danosa, seja para o meio ambiente, seja para os seres vivos, inclusive o homem [1]. A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera vem aumentando ao longo dos anos, estudos recentes mostram que a concentração atingiu marcas nunca vistas antes. O controle da emissão de gases estufa é uma preocupação global há décadas e, cada vez mais, os países vêm procurando uma maneira de regulamentar e controlar a emissão. Segundo veículos de comunicação internacionais, com os novos acordos climáticos, alguns países planejam eliminar totalmente os veículos a combustão nas próximas duas décadas. Além das questões ambientais, as cidades vivem problemas de mobilidade urbana, onde existe uma quantidade muito grande de carros para as vias. Com isso, cidades, como São Paulo, registram velocidades médias menores que 25 km/h nos horários de pico segundo levantamento feito pela Companhia de Engenharia de Tráfego da cidade. Portanto, os veículos elétricos são vistos como uma boa alternativa para o futuro.

O protótipo apresentado é leve, compacto, de boa acessibilidade e de fácil direção. Ele demanda poucos serviços de manutenção, requerendo assim, uma pequena quantidade de consumíveis para o seu funcionamento. O veículo não é destinado a percorrer grandes distâncias, nem atingir grandes velocidades. Inicialmente, deseja-se que ele tenha autonomia

entre 25 e 30 km com uma carga de bateria e velocidade máxima de 35 km/h.

## II. COMPONENTES DO VEÍCULO

### A. Estrutura

A estrutura principal do veículo foi montada sobre um triciclo encontrado comercialmente e as adaptações foram feitas a partir dele para a construção do protótipo. Esse modelo foi escolhido devido a sua construção que apresenta algumas características: possibilita que uma pessoa com mobilidade reduzida possa conduzi-lo, não necessita que o condutor se equilibre para dirigir, possui um assento grande e confortável e apresenta espaço físico de sobra para a inclusão dos componentes eletrônicos necessários para a adaptação do motor elétrico. A Fig. 1 mostra o protótipo montado com motor na roda dianteira e bateria na sua traseira.



Fig. 1. Fotografia do protótipo montado.

Originalmente, para se locomover com o triciclo se utilizam pedais, como qualquer bicicleta, com uma relação de transmissão fixa, uma coroa com 28 dentes e um pinhão com 22 dentes. O triciclo foi testado quanto ao esforço necessário para iniciar a se movimentar. Os testes foram realizados com diferentes pessoas, sedentárias ou ativas fisicamente e de diferentes idades. Na ocasião, foi pedido que andassem com o triciclo e dissessem a sensação que tinham quanto ao esforço para sair da inércia e quando se tinha certa quantidade de movimento. De uma maneira geral, as pessoas acharam que não era necessário muito esforço para tirar o triciclo da inércia.

### B. Motor Elétrico e sistema eletrônico de controle

O motor é um modelo elétrico síncrono sem escovas de acionamento direto com potência nominal de 1000 W e tensão



nominal de 48 V em corrente contínua. A escolha foi baseada na velocidade máxima disponível, informação disponibilizada pelos comerciantes.

O motor é construído para ser acionado diretamente. Dessa forma, elementos de transmissão para as cargas não são necessários. Com isso, o modelo de motor escolhido é montado diretamente na roda dianteira. Nos motores sem escovas não existe desgaste entre as suas partes, o que reduz a necessidade de manutenção. De maneira geral, a manutenção ocorre somente quando existe alguma falha. Normalmente, não existe manutenção preventiva, o que condiz com uma das premissas conceituais do veículo que é a baixa necessidade de manutenção e consequente uso reduzido de consumíveis. Assim, essa construção possibilita a criação de motores praticamente sem manutenção, boa confiabilidade, alta eficiência, baixo ruído e longa vida útil. Porém com custo inicial mais elevado que os modelos convencionais com escovas, devido ao processo de fabricação. Apesar de mais caros inicialmente, pensando-se a longo prazo, motores de acionamento direto sem escovas tornam-se mais vantajosos porque, tipicamente, sistemas convencionais após 5 anos de uso apresentam um custo acumulado maior, devido a manutenções e menor vida útil [2].

O motor escolhido é parte de um conjunto vendido comercialmente, que acompanha um módulo controlador que faz toda a gestão de energia e monitora constantemente os parâmetros de tensão e corrente elétrica fornecida pela bateria, evitando assim que ocorram sobrecargas no motor e na bateria. Um mostrador digital que indica velocidade, tensão na bateria, tempo em uso, odômetro parcial e total também faz parte do conjunto. A Fig. 2 ilustra os principais componentes eletrônicos.



Fig. 2. À esquerda, mostrador digital e módulo controlador atrás dele. À direita, acelerador com indicador de carga da bateria.

### C. Bateria

As baterias são acumuladores de energia muito utilizados. São compostas de células eletroquímicas que transformam energia química em energia elétrica através de reações de oxidação e redução. As características de uma bateria são dadas principalmente pelo material de que são feitas, sendo as de íon de lítio e de chumbo ácido mais usuais atualmente. O alto custo das baterias de íon de lítio é o maior impedimento para o seu uso, sendo o seu preço, em geral, três vezes maior quando comparado aos outros tipos [3].

A bateria foi escolhida tentando ao máximo equilibrar o custo, as premissas e as tecnologias empregadas no projeto. Pensando-se na máxima eficiência do veículo, quanto menor for o seu peso, melhor. Como o veículo apresenta ciclos de carga intermitentes, devido ao carregamento através da energia

de frenagem, a tecnologia utilizada não deve perder rendimento, por causa dessa condição. O uso em veículos elétricos exige altas descargas, já que em certos momentos é necessário dar partida no motor de forma brusca. Com isso, o modelo escolhido é de íons de lítio, possui capacidade nominal de 10 Ah e tensão nominal de 48 V. Apesar da pequena capacidade, foi possível ter noção do que se obtém em termos de autonomia com essa capacidade energética. A Fig. 3 mostra a bateria montada na parte traseira do protótipo.



Fig. 3. Bateria montada na cesta traseira do protótipo.

## III. FONTES DE ENERGIA

Para o carregamento da bateria do veículo, três fontes principais de energia foram utilizadas. A principal delas é a solar fotovoltaica, a única que possuía informações suficientes que puderam ser analisadas previamente para definir um sistema com capacidade suficiente para a necessidade levantada. Também há a possibilidade de carregamento com a energia de frenagem e de pedaladas, porém essas só puderam ser analisadas a partir dos dados experimentais.

### A. Energia solar fotovoltaica

O sistema fotovoltaico montado é isolado. Para a sua montagem foram usados recursos disponíveis na instituição e alguns componentes foram comprados.

Os módulos solares utilizados foram disponibilizados pela instituição e são da marca Komaes Solar, modelo KM(P)20. Devido à sua baixa potência, o tempo de carga será maior do que o desejado. Idealmente, uma carga completa deveria ocorrer em até 4 horas, para que o veículo possa rodar com sua total autonomia a cada dia. O valor de 4 horas foi baseado no mês com menor insolação média diária na cidade do Rio de Janeiro [4].

A Tabela 1 mostra as principais especificações do módulo.

TABELA 1 PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS MÓDULOS SOLARES

Parâmetro	Valor	Unidade
Potência máxima	20	W
Tensão em potência máxima	17,56	V
Corrente em potência máxima	1,14	A
Comprimento	0,55	m
Largura	0,34	m
Peso	2,6	kg

Duas hipóteses serão confrontadas: um sistema fotovoltaico que trabalha na tensão da bateria do veículo (48 V) e outro operando na tensão de 12 V, onde o sistema fornece energia a uma bateria que não é a do veículo primeiramente.

O carregamento direto na tensão nominal permite um sistema mais enxuto, ou seja, com menos etapas e consequentemente menos componentes. Logo é esperado que ele possua uma maior eficiência, porém será uma montagem praticamente exclusiva para o carregamento da bateria do veículo. Para se definir a tensão do sistema, foi tomada como base a tensão de corte do carregador da bateria, ou seja, a tensão em que o carregador para de carregar por considerar a bateria cheia, que é de 54,6 V. Dessa forma, para se atingir esse valor, quatro módulos solares serão necessários. O sistema será o mais simples possível, sendo composto por quatro módulos, um controlador de carga e a própria bateria do veículo.

O trabalho na tensão de 12 V é bastante difundido e consolidado, existindo uma grande gama de componentes e acessórios, que são facilmente encontrados no mercado. Além disso, tal carregamento permitirá que a energia gerada seja usada de diversas formas, não somente para a bateria do veículo. O sistema usará os mesmos quatro módulos solares, para que haja a mesma potência de geração, porém um controlador de carga diferente, além de uma bateria 12 V veicular, um inversor de 12 Vcc para 110 Vac e o carregador da bateria do protótipo.

Com os dados experimentais, será possível saber se a maior eficiência esperada do sistema em 48 V será grande o suficiente para que o carregamento em 12 V não se torne interessante.

### B. Energia das Pedaladas

A energia do próprio condutor através de pedaladas será testada de duas maneiras: estática, com a pessoa pedalando no carregador desenvolvido para o veículo, onde o foco principal é converter a energia empregada nas pedaladas em energia elétrica; e dinâmica, onde a energia das pedaladas será convertida em movimento, auxiliando na partida como se pedalasse uma bicicleta comum.

De uma maneira geral, motores consomem uma grande quantidade de energia na sua partida, chegando a 750% da corrente nominal em motores elétricos em alguns casos [5]. Como o veículo dispõe de pedais e a transmissão montada não exige muito esforço humano para sair da inércia, esse auxílio foi testado. É esperado que o auxílio na partida represente uma economia significativa. Para verificar o efeito desse auxílio, o

veículo foi submetido a testes de rodagem num circuito de rua com o condutor auxiliando e não auxiliando na partida.

O carregador por pedaladas foi construído de forma customizada para o veículo. Consiste de um suporte onde a estrutura do triciclo fica apoiada e as rodas traseiras tocam um eixo. Ao pedalar, as rodas movimentam o eixo que possui uma polia acoplada a um alternador veicular, que por sua vez carrega uma bateria também veicular. O carregador foi o único item do projeto construído especificamente para o protótipo, todos os demais itens são encontrados comercialmente. As Figs. 4 e 5 mostram o carregador sem e com o protótipo.

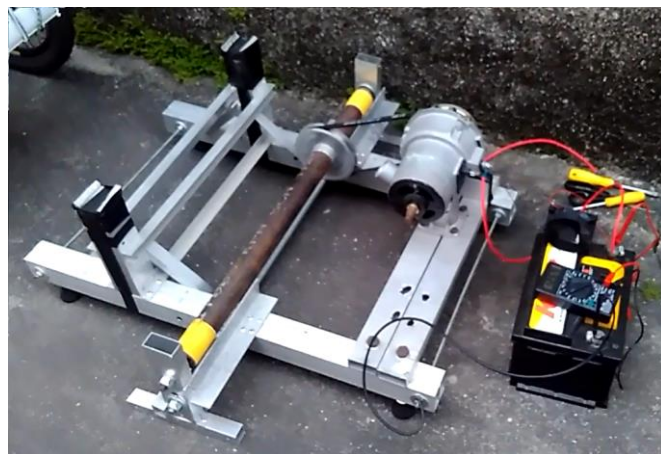


Fig. 4. Carregador por pedaladas acoplado a bateria veicular para testes.



Fig. 5. Carregador por pedaladas com o protótipo sobre ele.

### C. Energia de Frenagem

Um recurso interessante, entretanto, não disponível em todos os motores pesquisados, é a capacidade de inversão do motor em gerador. Motores e geradores síncronos são fisicamente iguais, assim como toda a sua modelagem e equacionamento. A única diferença entre eles é o sentido do fluxo de potência, enquanto que potência é consumida para gerar movimento nos motores, o movimento gera potência nos geradores [6].

O motor escolhido possui a capacidade de inversão em gerador quando os freios são acionados, assim é esperado que a

autonomia do veículo aumente quando esse recurso é utilizado. Infelizmente, devido à falta de informações do fabricante, não é possível estimar o ganho energético com o uso dessa função, sendo possível medir apenas com dados experimentais.

A fim de se verificar a influência do uso do sistema regenerativo de freios, o veículo foi testado em um circuito de rua com o recurso ativo e inativo.

#### IV. RESULTADOS INICIAIS

Os primeiros testes realizados foram de rodagem, onde o veículo foi examinado quanto a velocidade máxima, autonomia, influência da partida com pedaladas e do sistema regenerativo de freios.

Um circuito de rua foi pensado afim de haver maior compatibilidade entre os dados levantados, já que seria sempre o mesmo trajeto, sendo feito repetidas vezes. Para tal, os testes foram executados em horários de pouco tráfego, como no início do dia e em fins de semana, numa via com pouca circulação de automóveis para haver pouca intervenção do tráfego e também pela segurança do condutor e de eventuais pedestres. Cada volta do circuito possui 1,5 km de comprimento. Para os testes de influência da partida com pedaladas e do sistema regenerativo de freios, o percurso total é composto de seis voltas, totalizando 9 km. O protótipo foi submetido a parada total no meio e no fim de cada volta, totalizando doze. A tensão da bateria foi medida no início e no fim do percurso para avaliar a variação do nível de carga.

O carregador por pedaladas foi testado quanto a sua capacidade de geração energética, ou seja, se a estrutura montada com o alternador fornecia energia à bateria veicular e o esforço humano necessário na geração. Porém, os testes quanto ao seu aporte energético ainda não foram realizados. Portanto, até o momento, é sabido que ele carrega a bateria, porém, não se sabe o quanto de energia é fornecida.

Os últimos testes a serem realizados serão referentes ao sistema fotovoltaico projetado. Como já existe grande embasamento teórico sobre tais sistemas, ele será o último a ser experimentado, pois espera-se que não haja grandes diferenças entre os valores que podem ser calculados teoricamente e os dados experimentais. O resultado mais relevante é a comparação entre o carregamento a 48 V e 12 V.

##### A. Velocidade máxima

A velocidade foi medida com um velocímetro que mede e armazena o valor máximo alcançado, esse valor foi validado com a velocidade exibida no mostrador digital. No entanto, esse último não guarda o valor máximo obtido, podendo somente ser feita a leitura enquanto se está em movimento. Para que melhores resultados estatísticos fossem obtidos, os testes foram realizados três vezes, já que ocorreram em dias diferentes, ou seja, em condições também diferentes. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos.

TABELA 2 RESULTADOS DOS TESTES PARA VELOCIDADE MÁXIMA

Teste	Vel. Máxima (km/h)
1	40,97
2	43,44
3	42,74
Média	42,38

Verifica-se que a velocidade máxima foi maior do que a esperada, já que a ideia inicial era que o veículo tivesse velocidade máxima de 35 km/h. No entanto, é possível regular a velocidade máxima, numa faixa entre 20 e 34 km/h, através do módulo controlador, já que o intuito do veículo é mover-se com velocidades menores do que as máximas registradas e consequentemente obter uma maior autonomia.

##### B. Autonomia

A autonomia foi medida com o veículo rodando no circuito com velocidade máxima, evitando-se paradas totais e apenas reduzindo-se a velocidade nas curvas. A distância mostrada é a distância percorrida até que o nível de carga da bateria atinja um valor baixo o suficiente para que o módulo controlador entre no modo de economia de energia, onde passa a limitar a velocidade a 25 km/h. A partir daí foi considerado que a carga disponível não é mais suficiente para que se continue a rodar com o veículo. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos.

TABELA 3: RESULTADOS DOS TESTES DE AUTONOMIA A VELOCIDADE MÁXIMA

Teste	Distância (km)	Tempo (min)	Vel. Média (km/h)
1	19,7	38	31,1
2	19,7	42	28,1
Média	19,7	40	29,6

Como a ideia original do projeto era que o veículo rodasse no máximo a 35 km/h, a sua velocidade máxima foi ajustada no mostrador digital para 34 km/h, o que é bem próximo do valor desejado. Na prática, verificou-se que a velocidade máxima passava dos 34 km/h chegando próximo dos 35 km/h, porém sem atingi-los. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos.

TABELA 4: RESULTADOS DOS TESTES DE AUTONOMIA A VELOCIDADE REGULADA EM 34 KM/H

Teste	Distância (km)	Tempo (min)	Vel. Média (km/h)
1	23,0	45	30,7
2	23,0	44	31,4
Média	23,0	44	31,0

Ao contrário do teste com velocidade máxima, a autonomia registrada não foi obtida quando a bateria atingia um nível de carga baixo o suficiente para ativar a economia de energia. Na verdade, quando foi configurado para atingir ao máximo 34 km/h, esse nível não foi atingido. Teoricamente, era possível continuar rodando com o veículo, porém o teste foi interrompido ao se atingir 23 km de distância percorrida. A interrupção ocorreu considerando o baixo nível de carga, o que poderia causar algum dano a bateria e a distância percorrida, que já era suficientemente maior para se atestar o resultado esperado.



Observa-se que houve um aumento de mais de 16 % na autonomia apenas com a limitação eletrônica da velocidade máxima. Adicionalmente, observa-se que a velocidade média foi ligeiramente maior. Acredita-se que isso ocorra devido ao fato de o motor não trabalhar sempre na sua potência máxima, tendo uma sobra de potência para casos como subidas e irregularidades na pista.

### C. Auxílio na partida com pedaladas

Uma das principais premissas do projeto é a avaliação do uso da energia humana. Devido ao alto consumo dos motores elétricos na sua partida e ao baixo esforço necessário ao pedalar, o condutor auxiliar na saída da inércia foi uma das hipóteses levantadas para aumentar a eficiência. Como não é possível isolar cada hipótese, por exemplo, verificar somente a influência do auxílio na partida, os testes foram feitos com o sistema regenerativo de freios ligado e desligado. A Tabela 5 mostra os dados obtidos com os testes de rodagem com o sistema regenerativo de freios ligado.

TABELA 5: RESULTADOS DOS TESTES DA INFLUÊNCIA DO AUXÍLIO NA PARTIDA COM O SISTEMA REGENERATIVO DE FREIOS LIGADO

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão Final (V)	Variação da Tensão (V)	Assistência
1	53,9	50,3	3,6	Não
2	53,8	50,0	3,8	Não
3	53,9	50,4	3,5	Não
4	53,8	50,0	3,8	Não
5	53,8	50,4	3,4	Não
Média	53,8	50,2	3,6	
1	53,7	50,5	3,2	Sim
2	53,7	50,6	3,1	Sim
3	54,0	50,7	3,3	Sim
4	53,9	50,6	3,3	Sim
5	53,8	50,5	3,3	Sim
Média	53,8	50,6	3,2	

Observa-se que a queda de tensão na bateria é 12,5 % maior quando o condutor não auxilia nas partidas.

A Tabela 6 apresenta os dados obtidos com os testes de rodagem com o sistema regenerativo de freios desligado.

TABELA 6: RESULTADOS DOS TESTES DA INFLUÊNCIA DO AUXÍLIO NA PARTIDA COM O SISTEMA REGENERATIVO DE FREIOS DESLIGADO

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão Final (V)	Variação da Tensão (V)	Assistência
1	53,9	50,2	3,7	Não
2	53,7	50,5	3,2	Não
3	53,9	50,3	3,6	Não
4	53,7	50,1	3,6	Não
5	53,9	50,4	3,5	Não
Média	53,8	50,3	3,5	
1	53,7	50,4	3,3	Sim
2	53,6	50,4	3,2	Sim
3	53,7	50,3	3,4	Sim
4	53,7	50,4	3,3	Sim
5	53,7	50,5	3,2	Sim
Média	53,7	50,4	3,3	

Com o sistema regenerativo de freios desligado, a queda de tensão foi 6 % maior quando o condutor não auxilia na partida.

### D. Sistema regenerativo de freios

Um dos fatores cruciais na escolha do motor foi a possibilidade do uso da energia de frenagem para carregamento da bateria. Desde a fase inicial do projeto, não era esperado que essa fonte de energia fornecesse um grande aporte de energia. No entanto, esse recurso era bastante desejado, pois ele cumpria bem as premissas do projeto, já que o próprio motor é o gerador, portanto, nenhum componente adicional é necessário.

Os testes ocorreram da mesma forma que os testes para o auxílio na partida. A Tabela 7 mostra o comparativo quando houve auxílio do condutor na partida.

TABELA 7: RESULTADOS DOS TESTES DA INFLUÊNCIA DO SISTEMA REGENERATIVO DE FREIOS COM AUXÍLIO NA PARTIDA

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão Final (V)	Variação da Tensão (V)	Freio
1	53,7	50,5	3,2	Sim
2	53,7	50,6	3,1	Sim
3	54,0	50,7	3,3	Sim
4	53,9	50,6	3,3	Sim
5	53,8	50,5	3,3	Sim
Média	53,8	50,6	3,2	
1	53,7	50,4	3,3	Não
2	53,6	50,4	3,2	Não
3	53,7	50,3	3,4	Não
4	53,7	50,4	3,3	Não
5	53,7	50,5	3,2	Não
Média	53,7	50,4	3,3	

Como era esperado, a queda de tensão quando o sistema estava desligado foi maior sendo 3,1 % mais alta, na média. A Tabela 8 mostra os resultados quando não houve auxílio do condutor na partida.

TABELA 8: RESULTADOS DOS TESTES DA INFLUÊNCIA DO SISTEMA REGENERATIVO DE FREIOS SEM AUXÍLIO NA PARTIDA

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão Final (V)	Variação da Tensão (V)	Freio
1	53,9	50,3	3,6	Sim
2	53,8	50,0	3,8	Sim
3	53,9	50,4	3,5	Sim
4	53,8	50,0	3,8	Sim
5	53,8	50,4	3,4	Sim
Média	53,8	50,2	3,6	
1	53,9	50,2	3,7	Não
2	53,7	50,5	3,2	Não
3	53,9	50,3	3,6	Não
4	53,7	50,1	3,6	Não
5	53,9	50,4	3,5	Não
Média	53,8	50,3	3,5	

Nesta hipótese, ao contrário do esperado, a queda de tensão foi 2,8 % maior, na média, quando o sistema estava ativo. Esse resultado pode ser explicado devido a fatores ambientais como altas temperaturas durante alguns dias de teste e vento contra em partes do circuito.

### E. Circuito sem paradas

Para se obter um maior conhecimento sobre o consumo do veículo, um teste de rodagem no mesmo circuito foi feito sem que houvesse paradas e consequentes retomadas. Tal teste visa medir somente o consumo numa situação de descarga contínua, porém sem que o veículo tenha que sair da inércia constantemente. Portanto objetiva-se manter a velocidade média a mais alta possível, dentro das limitações da via, como o tráfego normal e pedestres. Algo parecido com a medição de consumo em estrada usada normalmente em carros.

Como não houve paradas totais, nem partidas frequentes não houve influência do uso sistema regenerativo de freios, nem do auxílio do condutor nas partidas. De qualquer maneira, para garantir que houvesse somente descarga, o sistema de freio estava desligado durante os três testes realizados. A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos.

TABELA 9: RESULTADOS DOS TESTES NO CIRCUITO SEM PARADAS

Teste	Tensão inicial (V)	Tensão Final (V)	Variação da Tensão (V)
1	53,7	50,5	3,2
2	53,7	50,6	3,1
3	53,7	50,6	3,1
Média	53,7	50,6	3,1

Os resultados mostram que a queda de tensão média da bateria no circuito sem parar é próxima da média de quando o condutor auxilia nas partidas e o sistema regenerativo de freios está ligado.

### V. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Apesar da autonomia ser menor do que a esperada, considerando que a bateria possui uma capacidade relativamente pequena, a menor dentre as baterias com 48 V, acredita-se que o uso de uma bateria com capacidade maior, mais condizente com a potência do motor, traga resultados melhores, já que a adição de baterias influenciaria apenas no peso total do veículo. Tendo em vista que o conjunto com veículo e condutor é maior que 100 kg e uma bateria pesa por volta de 5 kg, a inclusão de mais uma bateria, por exemplo, resultaria num acréscimo de peso total muito pequeno em comparação com o potencial ganho de capacidade energética, já que praticamente poderia dobrar a autonomia.

Como esperado o consumo de energia foi menor quando houve auxílio do condutor, mostrando que o auxílio na partida reduz efetivamente os efeitos inerciais, sendo até próximo do consumo sem paradas. Entretanto houve uma diferença entre os cenários com o sistema regenerativo de freios ligado e desligado. Provavelmente o próprio sistema tenha influência, uma vez que ele injeta energia na bateria. Por outro lado, por mais que o circuito tenha sido padronizado, outros fatores ambientais não puderam ser controlados, como o vento contra em alguns dias de teste e as altas temperaturas, o que também influenciou nos resultados.

Apesar dos resultados um pouco inclusivos em relação ao real ganho de energia quanto ao uso do sistema regenerativo, pode-se concluir que o uso do sistema fornece uma pequena quantidade de energia, já que a economia foi da ordem de 3 %, quando houve alguma diferença perceptível. Quando houve mais dificuldade para se percorrer o circuito, o ganho não foi grande o suficiente para se tornar algo positivo, resultando em um gasto maior de energia com o sistema ligado. Entretanto o custo associado ao motor possuir o recurso é muito alto, comparado ao seu benefício, que é muito baixo. Logo a escolha de um motor com esse recurso está vinculada diretamente ao seu custo total. Havendo no mercado um motor com o recurso com o preço muito próximo ao motor sem o recurso, o investimento pode ser válido, caso contrário, a escolha deve ser muito bem avaliada.

Um fator não esperado e que se mostrou de grande valia foi o aumento na eficiência de frenagem. Originalmente o triciclo possuía freios a sapata nas rodas traseiras apenas. Com o sistema ligado, a roda dianteira também passou a frear. Portanto, isso se tornou um ponto muito positivo do uso do sistema e que vai ao encontro de uma das premissas do projeto, que é a baixa utilização de consumíveis, já que com o motor servindo também de freio, as sapatas se desgastam muito menos.

As próximas etapas do projeto são a quantificação do aporte energético do carregador construído e a comparação da eficiência energética dos dois sistemas fotovoltaicos planejados.

Ao fim dos testes, será possível definir uma versão piloto do veículo. Os resultados obtidos indicarão o uso ou não das tecnologias estudadas, já que o uso está condicionado a sua viabilidade técnica e econômica.

### REFERÊNCIAS

- [1] BORSARI, V. Caracterização das emissões de gases de efeito estufa por veículos automotores leves no Estado de São Paulo. 2009. 189p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- [2] SANTOS, Vasco. Complementos de máquinas elétricas - Instituto Politécnico de Viseu. Viseu, 2006.
- [3] PINHO, J. et al. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 2014.
- [4] TIBA, Chiguero et al. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p. : il., tab., mapas.
- [5] BOLINHA, M. Z., Análise Experimental do Consumo Energético de um Motor Elétrico Com Fracionamento de Carga na Partida. 2011. 24 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011
- [6] CHAPMAN, Stephen J. Fundamentos de máquinas elétricas / Stephen J. Chapman ; tradução: Anatólio Laschuk. – 5. Ed. – Porto Alegre : AMGH, 2013.

# Modelo para prever evolução do preço de commodities minerais com o tempo: Aplicação para o preço das Terras-Raras

Marcos Flavio de Campos  
Depto. de Eng. Mecânica EEIMVR  
UFF – Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda RJ BRASIL  
marcosflavio@id.uff.br

**Resumo**—Um modelo para prever a evolução do preço de commodities com o tempo é apresentado. O modelo baseia-se nas equações do modelo predador-presa, denominadas equações de Lotke-Volterra. O modelo ajuda a prever o momento correto para investimentos. Uma característica importante do modelo é prever a ocorrência de bolhas. A possibilidade de detecção de bolhas pode evitar a ocorrência de crises, ou pelo menos amenizar essas crises. O modelo é proposto para commodities minerais, mas pode ser aplicado para commodities agrícolas e também para a economia em geral.

**Palavras-chave**— *commodities; Lotka-Volterra; minério; preços, investimento, terras-raras*

## I. INTRODUÇÃO

O conceito de minério é puramente econômico. Ou seja, para um depósito ser considerado minério, é necessário que após a extração exista lucro. A oscilação do preço de minérios faz áreas de mineração deixarem de ser econômicas para extração. Ou seja, a possibilidade de prever a variação de preços de commodities minerais é importante, evitando prejuízos em investimentos.

Neste estudo, será empregado o modelo de Lotka-Volterra [1,2], um clássico modelo predador-presa, para descrever a evolução de preços. O modelo pode prever a formação de bolhas, e evitar prejuízos no planejamento de minas. A analogia que existe em relação ao clássico modelo predador-presa é a seguinte:

Poucos produtores => Preço alto

Poucos predadores => Número de presas alto

Ou seja, presas representam preços, e predadores representam o número de produtores.

Quando o preço do minério decresce, algumas minas fecham pois não são economicamente viáveis. Essa é uma analogia com o predador do modelo Lotka-Volterra. Quando o preço está baixo, em seguida a mineradora entra em falência. Ou seja, o predador “morre”.

O modelo predador-presa é extensamente usado em biologia [3-5]. No presente estudo será utilizado para

interpretar a evolução do preço das terras-raras, uma commodity mineral.

Um simples efeito oferta e procura não prevê a possibilidade de ocorrer crises econômicas, nem quando elas ocorrem. A vantagem do modelo predador-presa é poder prever a existência de crises econômicas e também quando elas podem ocorrer.

## II. ANALOGIA COM O MODELO PREDADOR-PRESA

### A. O modelo predador-presa

As equações de Lotka-Volterra são um par de equações diferenciais de 1ª ordem, não-lineares.

As equações de Lotka-Volterra têm 6 parâmetros, dos quais 4 são constantes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , e também 2 parâmetros de entrada, número de presas e de predadores.

Uma população de presas  $x$  aumenta a uma razão  $dx = \alpha x$  dt Eq. (1). Entretanto, a população de presas decresce proporcionalmente a  $dx = -\beta x y$  dt. Portanto, proporcional ao produto dos números de presas e predadores.

Analogamente, uma população de predadores diminui a uma proporção  $dy = -\gamma y$  dt Eq. (2). Essa população de predadores aumenta conforme  $dy = \delta x y$  dt, ou seja, proporcional ao produto dos números de presas e predadores.

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = -\gamma y \quad (2)$$

Como resultado, temos as equações diferenciais acopladas, Eq. (3) e (4).

$$\frac{dx}{dt} = \alpha x - \beta x y \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dt} = -\gamma y + \delta x y \quad (4)$$

As soluções variam conforme as constantes escolhidas. Pontos críticos acontecem quando as Eqs. (3) e (4) são nulas, ou seja, iguais a zero

$$\alpha - \beta x = 0 \quad (5)$$

$$-\gamma + \delta y = 0 \quad (6)$$

O número de presas está sempre um pouco à frente do número de predadores. Alguns exemplos são apresentados nas figuras 1 a 4. A Tabela I mostra os Parâmetros e respectivos significados.

Tabela I Parâmetros do modelo predador-Presa

Variável	Símbolo	Significado
Alpha	$\alpha$	Presa (Crescimento Populacional)
Beta	$\beta$	Presa (Mortalidade)
Gamma	$\gamma$	Predador (Mortalidade)
Delta	$\delta$	Produtor (Crescimento Populacional)
$X_0$	$X_0$	Presa (Valor inicial)
$Y_0$	$Y_0$	Predador (Valor inicial)

As Figuras 1 a 4 apresentam alguns resultados do modelo predador-presa. Os cálculos foram realizados conforme ref. [6], com os números da Tabela II. O resultado mais evidente das Figs. 1 a 4 é a previsão da formação de bolhas (ou pico de número de presas, ou pico do valor de preços). A alteração dos parâmetros na Tabela II afeta a periodicidade dessas bolhas, mas elas sempre ocorrem, próximas aos pontos críticos. Cada uma dessas bolhas representa uma crise econômica, pois em sequência às bolhas de aumento de número de presas ocorre a morte dos predadores, representando a falência dos produtores.

Tabela II Parâmetros para o modelo predador-Presa

Variável	Símbolo	Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3	Fig. 4
Alpha	$\alpha$	1	1	1	1
Beta	$\beta$	1	1	0.02	0.02
Gamma	$\gamma$	1	1	0.8	0.8
Delta	$\delta$	1	1	0.08	0.02
$X_0$	$X_0$	10	5	100	100
$Y_0$	$Y_0$	5	5	5	5

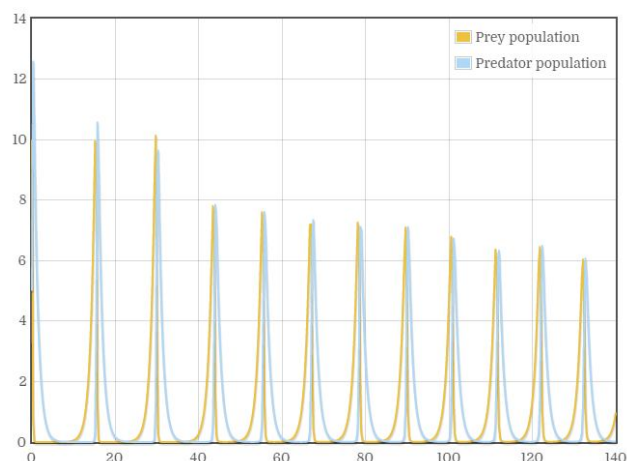


Figura 1. Amarelo: presa (preço), azul: predador (produtores).

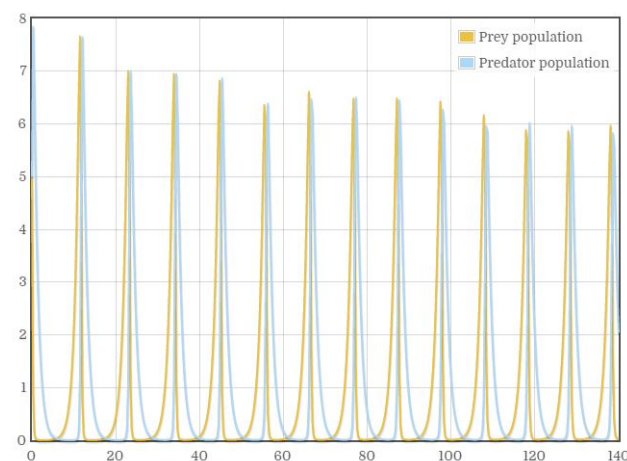


Figura 2 Amarelo: presa (preço), azul: predador (produtores).

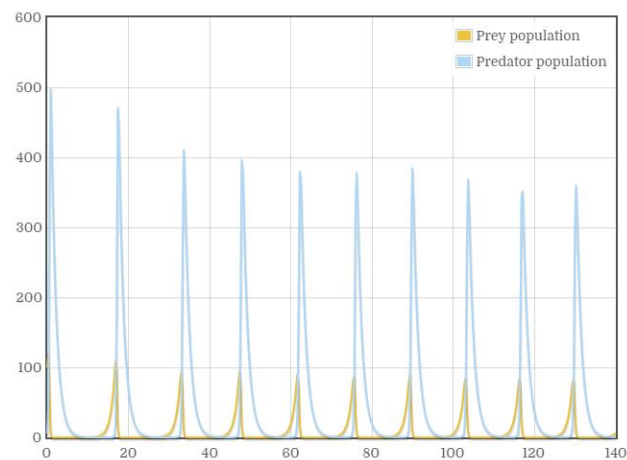


Figura 3 Amarelo: presa (preço), azul: predador (produtores).

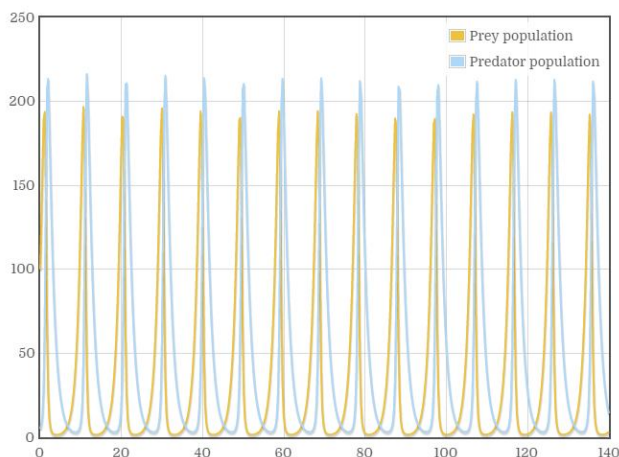


Figura 4 Amarelo: presa (preço), azul: predador (produtores).

A solução das eqs. (5) e (6) envolve a função W de Lambert, ver Eq. (7). B é uma constante.

$$y(t) = -\frac{\alpha}{\beta} W \left( -\frac{\beta}{\alpha} \exp \left( \frac{y x(t) - B}{\alpha} \right) x(t)^{-\frac{\gamma}{\alpha}} \right) \quad (7)$$

A expansão de W em torno de 0 por meio de séries de Taylor é dada pela Eq. (8).

$$W_0(z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-n)^{n-1}}{n!} z^n = z - z^2 + \frac{3}{2} z^3 - \frac{8}{3} z^4 + \frac{125}{24} z^5 - \dots \quad (8)$$

O modelo predador-presa pode ser facilmente estendido para mais de 2 componentes predador-presa. Um exemplo de modelo de três participantes é apresentado na Ref. [7].

### B. Evolução do preço de Commodities Minerais

Petróleo é uma commodity mineral de grande relevância no século XX. Se o preço do petróleo está alto, métodos de extração mais dispendiosos tornam-se viáveis, por exemplo o petróleo do pré-sal, ou o gás de xisto. Ou seja, novos produtores (predadores) surgem quando o preço aumenta. Porém, quando o preço cai, muitos desses novos produtores vão à falência.

É essencial notar que o preço do petróleo é fortemente afetado por situações e eventos políticos, como a Guerra do Golfo em 1991 ou a formação da OPEP em 1973 [8,9]. Nesse caso, o modelo predador-presa continua válido, porém o parâmetro preço (ou X), deve ser alterado, para cima. Ou seja, crises políticas também podem ser incorporadas no modelo, basta apenas alterar parâmetros do modelo em função do tempo.

O minério de ferro é outra commodity onde o modelo predador-presa pode ser aplicado. O preço do minério de ferro estava acima de 100 dólares a tonelada de 2010 a meados de 2014 [10], quando começou a declinar, devido ao aumento de produção (no Brasil e Austrália) e abertura de novas minas na Austrália, ver Fig. 5.



Figura 5. Variação do preço de minério de ferro nos últimos oito anos [10].

O modelo prevê uma oscilação bastante severa de preços ao longo do tempo. Assim, algumas mineradoras talvez tenham de trabalhar em situação de prejuízo (“no vermelho”) por longos períodos, em uma situação de preços baixos. Porém, se conseguirem resistir aos períodos difíceis, existirão momentos de lucros.

Na prática, eventos políticos podem levar a subida de preços, por exemplo a crise do petróleo de 1973, invasão do Iraque. Porém a decisão de abertura de novas minas também é um evento que envolve política, seja de governos ou de grandes empresas.

No caso das terras-raras, a China é responsável por aproximadamente 90% da produção mundial [11], e os preços podem ser profundamente afetados por decisões políticas.

### III. CASO DE ESTUDO: O PREÇO DAS TERRAS RARAS

As figuras 6 e 7 mostram um agudo aumento dos preços das terras-raras em 2010-2011. Esse aumento foi devido a uma crise entre Japão e China, sobre as ilhas Senkaku/Dyaoiu, ocorrido em setembro de 2010 [12].

Repentinamente, o preço aumentou, e isso pode ser incorporado no modelo, por exemplo, em X (variável que representa o número de presas ou preço), ver Tabela II.

O rápido aumento de preços ocasionou um forte movimento por substituição de terras-raras. Isso afetou bastante o preço do Európio, cuja principal aplicação é em fósforos luminescentes [13,14], ver Fig. 6.

A queda de preços após 2011 ocasionou a falência da Mina Mountain-Pass, na Califórnia. Além da queda de preço das

terras-raras, outras razões para a falência são i) a inexistência de compradores de óxidos de terras-raras nos Estados Unidos. ii) os fabricantes de ímãs precisam de metal, e não de óxido, e os Estados Unidos não dispunham de produtores de terra-rara metálica.

Vale notar que a principal mina de terra-rara do mundo é Bayan Obo na China, a qual produz principalmente minério de ferro, sendo que as terras-raras são subproduto. A viabilidade econômica de minas baseadas exclusivamente em terras raras leves (La,Ce,Nd e Pr), caso de Mountain Pass, é muito difícil.

Os preços atuais (maio/2017) de óxidos, metais e ferro-ligas são listados nas Tabelas III a VI, com ênfase para terras-raras e metais encontrados em minérios que contêm terras-raras. Os preços são essenciais para indicar a viabilidade econômica de empreendimentos em mineração. A rápida queda de preços ocasiona logo em seguida a falência de muitos produtores, como evidenciado no modelo nas Figs. 1 a 4.

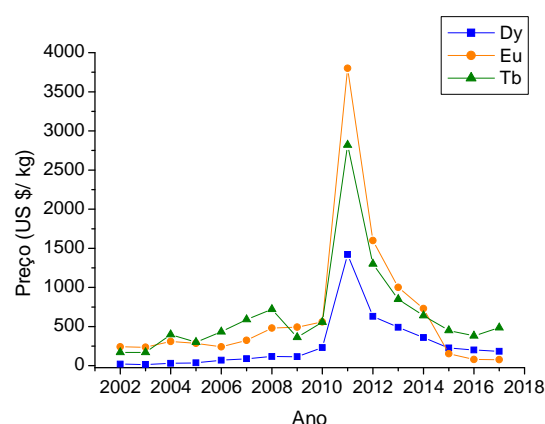


Figura 6. Evolução dos preços de Dy, Eu e Tb de 2002 a 2017.

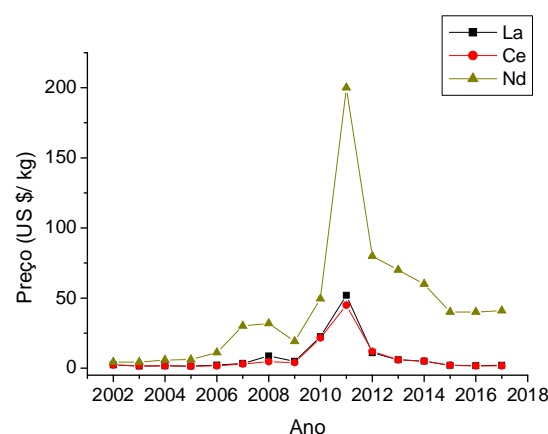


Figura 7. Evolução dos preços de La, Ce e Nd de 2002 a 2017.

Tabela III. Preços de óxidos de Terras-raras em maio/2017

Óxido	Preço US\$(kg)
Tb óxido > 99.99%	485
Dy óxido >99%	185
Eu óxido >99.99%	73
Ho óxido >99%	60
Pr óxido > 99%	51
NdPr (75/25) óxido >99%	41
Nd óxido > 99%	41
Er óxido > 99%	26
Gd óxido > 99%	13
Y óxido > 99.999%	3.2
Sm óxido > 99%	2
La óxido > 99.9%	2.1
Ce óxido > 99%	1.6
Óxidos pouco comercializados	
Lu óxido	700
Tm óxido	200-300
Yb óxido	20

Tabela IV. Preços de Metais em maio/2017

Metal	Preço US\$(kg)	FOB
Nd > 99%	51	
Pr <sub>0.25</sub> Nd <sub>0.75</sub> >	52	
Pr	65	
Dy	260	
Tb	590	
Sm	15	
La	4.7	
Ce	4.7	
Co	54.5	
Bi	11	
Mn	2	
Al	1.9	
Ni	9.7	
Ga	120	
Cu	5.5	
Zr	35	
Ti esponja	8	
Sn	20	
Nb	30-40	

As terras raras com preços mais altos nas Tabelas III e IV são aquelas empregadas em ímãs (Tb, Dy, Pr, Nd e Ho). A exceção é o Európio, usado em fósforos luminescentes. O preço do óxido de Hólmio aumentou de 40 US\$/kg (setembro de 2016) a 60 US\$/kg (maio/2017). Os preços são ilustrativos.



Nos dados das Tabelas III, IV, V e VI, existe facilmente uma flutuação de preços de 10% ao longo de um dado mês.

Tabela V. Preços de Ferro-ligas em maio/2017

Ferro-liga	Preço US\$(kg)
Ferro Boro (Fe-17%B)	4
Fe80Ho	64
Fe80Dy	180
Fe65Nb	20

Tabela VI. Preços de alguns óxidos em maio/2017

Óxido	Preço US\$(kg)
Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	125
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3000

## IV. ENERGIA INTERPRETADA COMO UMA COMMODITY

O modelo predador-presa pode ser aplicado a outras commodities, e o mais claro exemplo é a energia. A redução do preço dos painéis solares poderá favorecer a produção de energia em locais próximos ao Equador, caso do Brasil [15].

Os preços do petróleo e da energia elétrica nos Estados Unidos seguem a mesma tendência [8]. O aumento de geração de energia solar poderá propiciar que a energia elétrica nos países tropicais seja mais barata, porém combustíveis fósseis como petróleo e carvão continuarão sendo importantes nas regiões mais setentrionais e meridionais, acima e abaixo dos trópicos de Câncer e Capricórnio, especialmente em países próximos aos polos Norte e Sul.

Assim, o modelo predador-presa das Figs. 1 a 4 pode representar energia como uma única commodity, embora a energia seja produzida de diferentes maneiras (por exemplo: hidrelétrica, carvão, nuclear, eólica, solar). Existe a previsão de que a energia solar seja a mais barata dentro de 10 anos [16-18].

## V. DISCUSSÃO

Não existe a mão invisível de Adam Smith. O que existe é um sistema do tipo predador-presa, onde companhias competem, e as companhias menos lucrativas acabam falindo, ou seja saem do mercado. As crises ocorrem na proximidade dos pontos críticos, conforme Eqs. (5) e (6).

A presa pode ser interpretada como o capital. Nos momentos de bolha, há capital sobrando, gerando os preços altos. Nessa situação o número de produtores aumenta, os preços reduzem, e crises econômicas ocorrem.

O setor imobiliário é o que dá mais claro indício de bolha na economia. O capital sobrando faz os preços de imóveis aumentar muito [19].

No presente estudo, o modelo foi apresentado de maneira a fazer previsões qualitativas. Em estudos futuros, existe o objetivo de usar o modelo para previsões quantitativas.

## VI. CONCLUSÕES

É discutida a analogia entre o modelo predador-presa e a evolução do preço das commodities. Decisões políticas podem afetar muito os preços de commodities, mas esse detalhe pode ser incorporado no modelo.

O modelo foi empregado para discutir a evolução de preços das terras-raras. O modelo permite compreender a formação de bolhas na economia. O uso do modelo pode evitar a realização de investimentos em momentos pouco propícios, o que resultaria em prejuízos e falências.

O modelo pode ser estendido para outras commodities e também para aspectos que representam vários setores da economia juntos, por exemplo a energia elétrica e seu preço.

## AGRADECIMENTOS

FAPERJ, CNPq.

## REFERÊNCIAS

- [1] Lotka, A.J., "Contribution to the Theory of Periodic Reaction", J. Phys. Chem., 14 (3), pp 271–274 (1910).
- [2] Volterra, V., Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together in Animal Ecology, Chapman, R.N. (ed), McGraw-Hill, (1931).
- [3] Mimmo Iannelli, Andrea Pugliesi. An Introduction to Mathematical Population Dynamics: Along the trail of Volterra and Lotka [1 ed.], 2014.
- [4] S. Ahmad, L. M. Stamova. Lotka-Volterra and Related Systems: Recent Developments in Population Dynamics. 2013.
- [5] Y. Takeuchi. Global Dynamical Properties of Lotka-Volterra Systems. 1996.
- [6] <http://book.xogeny.com/behavior/equations/population/>
- [7] <http://book.xogeny.com/components/components/population/#population-components>
- [8] <http://www.motherjones.com/blue-marble/2011/05/oil-prices-charlie-sheen-electric-car>
- [9] <https://inflationdata.com/articles/charts/inflation-adjusted-oil-prices-chart/>
- [10] <http://www.infomine.com/>
- [11] [https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare\\_earth/mcs-2017-rare.pdf](https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2017-rare.pdf)
- [12] <http://www.nytimes.com/2010/09/23/business/global/23rare.html>
- [13] <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/3753/1397>
- [14] [https://www.researchgate.net/publication/310267769\\_Recent\\_Developments\\_in\\_Brazilian\\_Rare-Earth\\_Industry](https://www.researchgate.net/publication/310267769_Recent_Developments_in_Brazilian_Rare-Earth_Industry)
- [15] <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4315/pdf>
- [16] <https://www.bloomberg.com/news/photo-essays/2017-04-19/clean-energy-isn-t-just-the-future-it-s-the-present>
- [17] <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-12-15/world-energy-hits-a-turning-point-solar-that-s-cheaper-than-wind>
- [18] <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-06-13/we-ve-almost-reached-peak-fossil-fuels-for-electricity>
- [19] M. Lewis. The Big Short: Inside the Doomsday Machine. 2010.



# Materiais Magnéticos para Motores de Carros Elétricos

Marcos Flavio de Campos  
 Depto. de Eng. Mecânica EEIMVR  
 UFF – Universidade Federal Fluminense  
 Volta Redonda RJ BRASIL  
 marcosflavio@id.uff.br

**Resumo**— É apresentada uma breve revisão sobre os principais tipos de motores em carros elétricos e híbridos, e sobre quais materiais magnéticos são usados nesses motores. Essas condições exigem aços elétricos de baixa espessura para operar em frequências elevadas, da ordem de 400 Hz, e em projetos recentes existe a tendência a funcionar em frequências mais altas, da ordem de 1000 Hz. Nessas condições, ímãs de terras-raras podem apresentar problemas de desmagnetização devido à correntes parasíticas. É discutido um modelo para prever a microestrutura adequada para operação em altas frequências.

**Palavras-chave**—carros elétricos, motores elétricos, materiais magnéticos, economia de energia

## I. INTRODUÇÃO

Carros elétricos exigem motores elétricos com alta eficiência, e isto impõe uma grande pressão sobre os materiais empregados nos motores. Em geral, motores de carros elétricos funcionam em frequências bem elevadas, da ordem de 400 Hz, e existe a tendência da frequência chegar a 800-1000 Hz, bem diferente dos motores domésticos convencionais, que operam a 50-60 Hz. O aumento da frequência depende do desenvolvimento de materiais magnéticos com menos perdas. A alta eficiência energética é essencial para poupar baterias. Motores mais eficientes aumentam a autonomia dos automóveis e permitem que a massa transportada de baterias seja menor. Por exemplo, 436 kg de baterias são transportadas no Chevrolet Bolt, e 260 kg no Chevrolet Spark [1].

O Toyota Prius Prime (Plug-in) está sendo vendido no mercado americano a preços abaixo de US\$ 25000 [2]. Já existem companhias vendendo baterias domésticas a preço acessível para a classe média, por exemplo a Tesla Powerwall 14 Kwh está sendo oferecida a US\$ 7000 [3]. Com os painéis solares reduzindo o custo, não estamos distantes da era em que a eletricidade vai ser priorizada em relação à gasolina, pelo menos para transporte urbano. Isso pode significar uma grande demanda de aços para fins elétricos, e também de ímãs permanentes de terras raras. O motor do Tesla Roadster tem 32 kg, basicamente aços elétricos, sem uso de ímãs [4]. O motor do Tesla Model S também pesa 70 libras ou 32 kg [5]. O motor do BMW i3 tem 50 kg [6]. A quantidade de ímãs em motores

BMW i3 é de ~1 kg e no Nissan Leaf ~2 kg [7]. O correio alemão (Deutsche Post) desenvolveu uma mini van (StreetScooter) que utiliza um motor a indução assíncrono de 30 kW, alimentado por baterias lítio-íon [8,9]. Apesar deste exemplo e também da Tesla Motors, a grande maioria dos fabricantes vem escolhendo motores com ímãs permanentes, por exemplo o Toyota Prius [10] e o Honda [11].

Motores para carros elétricos operam a frequências altas, a 400 Hz [12], mas projetos mais recentes tendem a usar frequências mais elevadas. Nessas condições, as correntes parasíticas ou de Foucault são significantes. Os ímãs dos motores devem suportar altas temperaturas e também problemas de desmagnetização em operação. Portanto, aços elétricos e ímãs permanentes devem ser desenvolvidos para essas condições. Inicialmente nesta breve revisão serão discutidos os principais tipos de motores, e nas seções posteriores os materiais magnéticos, ímãs e aços elétricos para motores elétricos.

## II. TIPOS DE MOTORES ELÉTRICOS

Vários tipos de motores elétricos vem sendo considerados por diferentes fabricantes, e são mostrados na Tabela I, adaptada da ref. [13].

Tabela I. Principais tipos de motores aplicados em carros elétricos

Tipo	ASM	SM	PSM	HSM
Eficiência máxima %	83-91	81-95	81-95	95
Usa ímãs permanentes	não	não	sim	sim
exemplo	Tesla Model S, Street Scooter	Renault Fluence	Smart Fortwo	BMW i3

ASM = motor assíncrono, SM= motor síncrono, PSM = motor síncrono com ímãs permanentes, HSM= motor híbrido síncrono.

Em altas velocidades o motor C/A sem ímãs da Tesla Motors pode ser interessante, mas em baixas velocidades, para uso urbano, o motor com ímãs permanentes tem vantagem [14]. Portanto, a grande maioria dos grandes fabricantes vem optando por motores síncronos com ímãs permanentes, por exemplo Chevy Spark, Ford Focus, Volkswagen e-Golf, Honda Fit EV, Nissan Leaf, Toyota Prius.

#### A. O motor empregado pela Tesla

Como mencionado na seção anterior, a grande maioria dos fabricantes da indústria automobilística vêm optando por motores com ímãs permanentes, em geral do tipo síncrono corrente alternada, com ímãs permanentes imersos no rotor. A Tesla Motors prefere motores de corrente alternada, sem ímãs.

A Tesla vem utilizando um motor 3 fases 4 polos, o qual é exemplificado nas figuras 1 e 2 [15,16]. Esse motor segue essencialmente o projeto original de Nikola Tesla no séc. XIX [17].

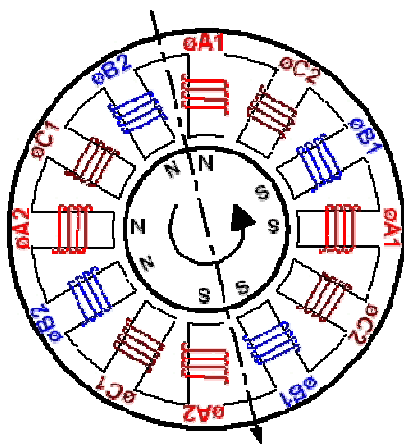


Figura 1. Motor 4 polos 3 fases corrente alternada [15].

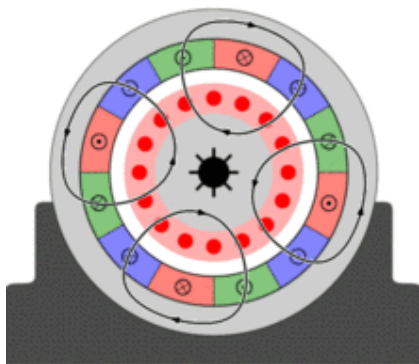


Figura 2. Motor 4 polos 3 fases corrente alternada [16].

Tem sido mencionado [14] que o motor da Tesla Motors é baseado no projeto de Alan Cocconi para o GM EV1, que opera a 400 Hz. O carro elétrico GM EV1 foi assunto de vários documentários [18,19].

#### B. O motor do BMW i3

O motor do BMW i3 é do tipo HSM, e é exemplificado na figura 3 [20] e na figura 4 [21]. A figura 3 distingue entre ímãs montados na superfície e ímãs internos. Atualmente, todos os projetos usam ímãs internos, por exemplo o apresentado na figura 4 [21].

#### CHOICE OF THE MACHINE TYPE. CONSIDERED TOPOLOGIES.






-  **PSM:** Permanent magnet motor with surface mounted magnets.
-  **IPM:** Motor with buried magnets. Different geometries possible.
-  **HSM:** „Hybrid synchronous motor“. Special geometry of an IPM. Designed for high reluctance torque.
-  **EI.Ex.Sm:** Electrically excited synchronous machine.
-  **ASM:** Asynchronous machine.

Figura 3. Comparação entre diferentes tipos de rotores.

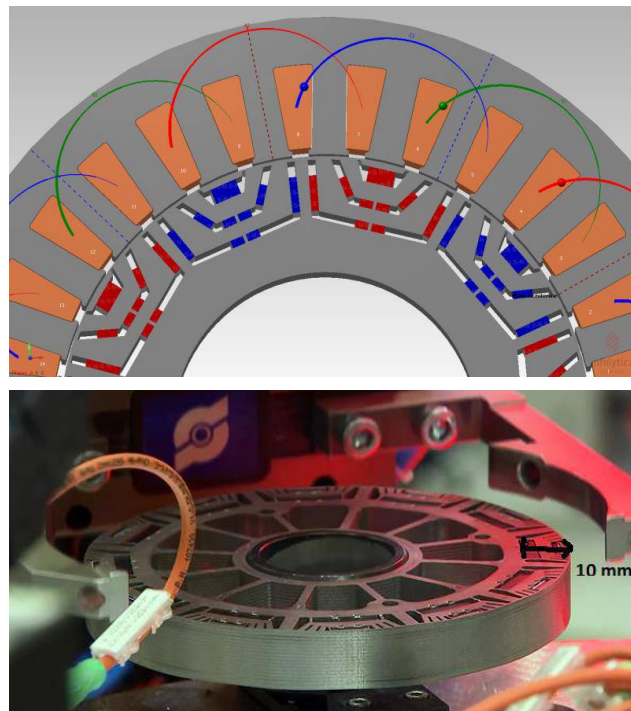


Figura 4. Rotor do BMW i3 [21].

### C. O motor do Chevy Volt

O Chevy Volt utiliza o sistema Voltec, com 2 motores de ímãs permanentes. Na Geração 2, a Chevrolet optou por um rotor com ímãs de ferrite e outro com ímãs de terras-raras [22]. Porém, ímãs de ferrite tem menor magnetização de saturação e menor coercividade. Um problema adicional é que em altas velocidades existem elevadas tensões mecânicas nos ímãs e no aço [23]. No Malibu híbrido, são usados ímãs de terras raras nos dois motores do sistema Voltec [24]. Também o motor do Chevy Bolt usa apenas ímãs de terras-raras [25]. A figura 5 [26] mostra a geometria dos rotores, utilizando ímãs de ferrite e ímãs de terras raras. Detalhes dos motores do Chevy Volt são apresentados na Fig. 6 [27].

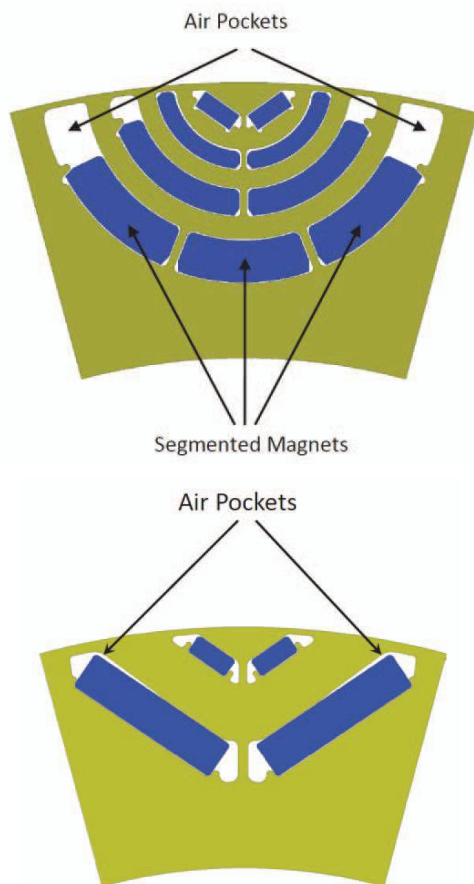


Figura 5. Configuração dos ímãs nos 2 motores do Chevy Volt. Disposição dos ímãs nos 2 motores do Chevy Volt. Acima, motor com ímãs de ferrite, e abaixo o motor com ímãs de NdFeB (Esquemático) [26].

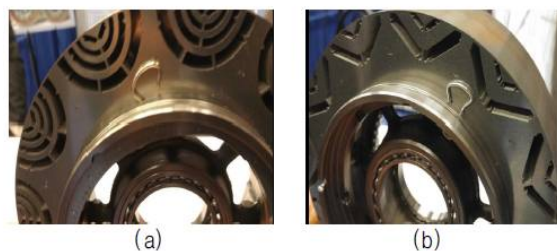


Fig. 4. GM Volt motor (a) motor A, (b) motor B.

Figura 6. Disposição dos ímãs nos 2 motores do Chevy Volt. À esquerda, motor com ímãs de ferrite, e na direita o motor com ímãs de NdFeB.

### D. O motor do Toyota Prius

No rotor, o Toyota Prius emprega ímãs em formato de V, o que se tornou uma referência para motores posteriores. Por exemplo, a figura 5 mostra que a GM optou por ímãs em duplo V no sistema Voltec. A massa de ímãs tem variado conforme o modelo da Toyota, ver Tabela 2. Em 2004 surge a segunda geração do Toyota Prius, e em 2010 a 3ª geração. Conforme mostra a tabela 2, massa de ímãs nos motores do Prius foi reduzida bastante da 2ª para a 3ª geração [28].

Tabela 2. Características de motores de carros da Toyota

Carro	2010 Prius	Lexus LS 600h	Camry	2004 Prius
Espessura do aço mm	0.305	0.28	0.31	0.33
Massa de aço no Estator (kg)	10.36	15.15	12.38	19.05
Massa de ímãs NdFeB (kg)	0.768	1.349	0.928	1.232

O rotor do Toyota Lexus emprega a disposição delta dos ímãs, enquanto o Prius e o Camry o formato em V [28]. O Nissan Leaf também usa a configuração em delta. Um estudo recente [29] concluiu que a simples configuração em V é melhor do que a duplo V da Chevrolet e também melhor do que a delta, ver Fig. 7. A Honda vem preferindo o formato em V [11], ver Figura 8. A configuração em V propicia torque por relutância [30]. A Nissan continua preferindo o formato em delta [31,32].



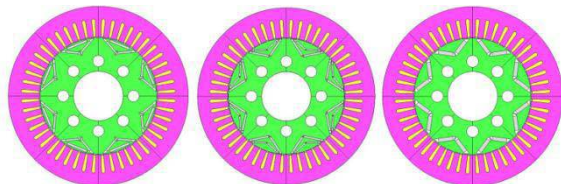


Figura 7. As três principais configurações que vem sendo empregadas pelos fabricantes de carros elétricos e híbridos [29]. À esquerda, delta. No centro, duplo V. À direita em V.

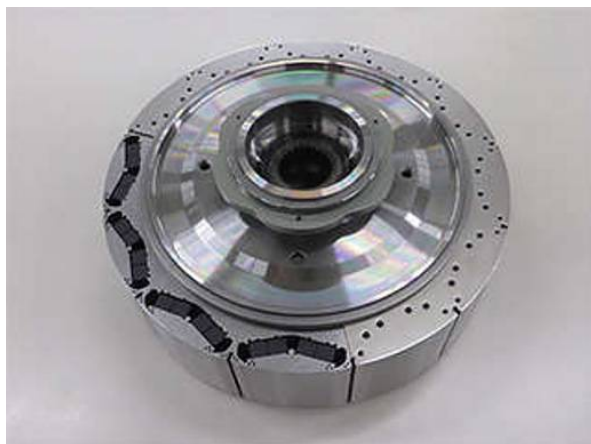


Figura 8. Rotor da Honda para o Freed Sport Hybrid 2017 [11].

### III. ÍMÃS PARA MOTORES ELÉTRICOS

A maioria dos fabricantes prefere ímãs de terras-raras, os quais permitem maior miniaturização. A grande exceção é Chevy Volt, como mostrado nas Figs. 5 e 6. Volatilidade de preços das terras-raras é a principal razão para escolher ímãs de ferrite [33]. Os ímãs de ferrite podem desmagnetizar a baixas temperaturas [34], e é necessária uma quantidade muito maior em volume, como exemplificado nas Figs. 5 e 6.

Ou seja, a menor coercividade e a menor magnetização de saturação dos ímãs de ferrite são suas principais limitações. A menor magnetização de saturação resulta em menor torque do motor. Por outro lado, ferrite  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  é uma cerâmica e tem resistividade muito maior. São necessários mais estudos para entender como a presença de correntes parasíticas em ímãs de NdFeB podem afetar o motor.

Uma possibilidade é combinar pós de NdFeB e de ferrite [35], obtendo assim um material intermediário [35], com a ferrite de baixa resistividade evitando a circulação de correntes de Foucault.

Ímãs com baixa resistividade devido a fases intermediárias de baixa resistividade, como fluoretos, vem sendo desenvolvidos [36-39]. Estudos comparando motores com e sem ímãs nem sempre tem mencionado o problema da baixa resistividade dos ímãs de NdFeB [40]. Entretanto, o problema das correntes parasíticas nos ímãs NdFeB já foi detectado e estudado anteriormente [41,42]. O uso de ímãs aglomerados

(“bonded magnets”) tem sido sugerido como alternativa para evitar correntes parasíticas [43].

Para evitar o problema de desmagnetização a altas temperaturas, a Honda e a Daido Steel desenvolveram uma ímã deformado a quente [44], com menor tamanho de grão, o que evita a utilização de elementos terras raras como disprosio, térbio e hólmio. Esses três elementos, Dy, Tb e Ho aumentam o campo de anisotropia magnetocristalina da fase  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  (2:14:1), elevando a coercividade intrínseca e, portanto, aumentam a temperatura de operação dos ímãs.

### IV. AÇOS PARA MOTORES ELÉTRICOS

A indústria de carros elétricos vem preferindo aços de menor espessura [45]. A preocupação é com a redução de perdas. Diminuindo as perdas, é possível aumentar a frequência de trabalho do motor [45]. O modelamento vem confirmando a tendência por aços de menor espessura, de até 0.2 mm [46]. O modelamento também confirmou a vantagem do uso de ímãs com geometria em V no rotor [47].

Muitos fabricantes estão oferecendo aços específicos para motores elétricos, mencionando frequência de operação da ordem de 1000 Hz [48,49]. Pequena espessura e maior resistência mecânica estão entre os itens mais característicos desses aços [50-52].

Os aços elétricos com adição de silício são economicamente mais vantajosos que outros materiais, por exemplo a liga FeCo 50/50 [50].

Existe a sugestão de aços diferentes para rotor e estator [53]. O aço do rotor deve ter maior resistência mecânica e o do estator deve ter alta permeabilidade e perdas muito baixas [53].

### V. ESTRATÉGIAS PARA OTIMIZAÇÃO DE AÇOS ELÉTRICOS

O modelo de separação de perdas apresenta as possibilidades, em termos de composição química e microestrutura, para otimizar o aço para uma determinada frequência [54,55]. As Tabelas 3 e 4 resumizam as tendências apontadas pelo modelo de separação de perdas [55]. O modelo de separação de perdas admite a existência de três diferentes componentes de perdas: i) parasítica clássica, ii) histerética e iii) anômala, ver Tabelas 3 e 4.

Uma possibilidade para aumentar resistividade e resistência mecânica ao mesmo tempo é a adição de manganês. Outros elementos de liga podem também promover endurecimento por solução sólida, como o Al. Fósforo é um elemento de liga que costuma ser adicionado nos aços elétricos para aumentar a resistividade. Ou seja, adições de elementos de liga aumentam resistividade elétrica e resistência mecânica (endurecimento por solução sólida) ao mesmo tempo, e essa é uma das maneiras mais claras de adaptar o aço para altas frequências.

Outra possibilidade para adaptação a altas frequências vem da microestrutura dos aços. Em material deformado, a perda



histerética é grande, porém a perda anômala é pequena. Ou seja, um material um pouco deformado pode ser uma possibilidade, pois um material ligeiramente deformado apresenta grande aumento da resistência mecânica.

Uma estrutura apenas recuperada, e não recristalizada também pode ser uma opção para material em altas frequências.

Nos cristais CCC, as dendritas crescem na direção <001>; Assim, aproveitar a textura de solidificação pode ser uma estratégia de otimização de aços elétricos. A textura ideal é do tipo {001} <0vw>. Ou seja, deve conter eixos de fácil magnetização <001> paralelos à superfície da chapa. Essa textura pode ser obtida por “strip-casting”.

O tamanho de grão ótimo para minimizar perdas [54,55] aumenta quando: i) a resistividade diminui, ii) a frequência aumenta, iii) a espessura da chapa aumenta. Assim, o material e sua microestrutura precisam ser planejados para cada diferente situação de operação.

Tabela 3. Efeito quantitativo de algumas variáveis nos três componentes de perdas

Variável	Parasítica Clássica	Histerética	Anômala
Indução (B)	$B_{\max}^2$	$B_{\max}^{1.6-2.0}$	$B_{\max}^{1.5-2.0}$
Frequência (f)	$f^2$	$f$	$f^{3/2}$
Resistividade (ρ)	$1/\rho$	-	$1/\rho$
Espessura (e)	$e^2$	* (ver comentário abaixo)	$e^2$
Tamanho de grão (Gs)	-	$1/Gs$	$Gs^{0.5}$

\*) o componente histerético pode aumentar ao reduzir a espessura, por efeito de “pinning” na superfície.

Tabela 4. Efeito qualitativo de algumas variáveis nos três componentes de perdas

Aumento da Variável	Parasítica Clássica	Histerética	Anômala
Teor de Si	Decresce	Decresce	Decresce
Textura (melhora da)	-	Decresce	Decresce
Número de paredes de domínio (n)	-	Aumenta	Decresce
Deformação plástica	-	Aumenta	Decresce
Tensão aplicada (compressão)	-	Aumenta	Aumenta
Inclusões	-	Aumenta	(sem efeito)

## CONCLUSÕES

Carros elétricos tem motores operando a altas frequências, da ordem de 400-1000 Hz. Nessas condições, as correntes parasíticas (ou de Foucault) se tornam relevantes, e tanto os

aços elétricos como os ímãs empregados nos motores precisam ter alta resistividade. As correntes parasíticas podem aumentar a temperatura dos ímãs, originando problemas de desmagnetização. São discutidas possibilidades para adaptação dos aços para altas frequências. A mais clara é a adição de elementos de ligas que aumentam a resistividade e promovem endurecimento por solução sólida, como manganês e alumínio.

## AGRADECIMENTOS

FAPERJ, CNPq.

## REFERÊNCIAS

- [1] <http://papers.sae.org/2016-01-1153/>
- [2] <http://insideevs.com/compare-plug-ins/>
- [3] <https://www.tesla.com/powerwall>
- [4] K. T. Chau. Electric Vehicle Machines and Drives: Design, Analysis and Application. John Wiley, 2015.
- [5] <https://chargedevs.com/newswire/elon-musk-cooling-not-power-to-weight-ratio-is-the-challenge-with-ac-induction-motors/>
- [6] <http://www.greencarcongress.com/2013/08/bmw-20130812.html>
- [7] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214993715000032>
- [8] <http://www.dw.com/en/deutsche-post-dhl-makes-its-own-electric-delivery-vans/a-19332124>
- [9] <https://global.handelsblatt.com/companies-markets/deutsche-post-challenges-auto-industry-with-electric-van-746698>
- [10] [http://www.motor-design.com/cmsAdmin/uploads/ecce\\_2010\\_hybridvehicles.pdf](http://www.motor-design.com/cmsAdmin/uploads/ecce_2010_hybridvehicles.pdf)
- [11] <http://articles.sae.org/14915/>
- [12] R. H. Staunton, C. W. Ayers, L. D. Marino, J. N. Chiasson and T. A. Burrell, "Evaluation of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric Drive System", Oak Ridge National Laboratory ORNL/TM-2006/423, 2006.
- [13] [https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527332405\\_c01.pdf](https://application.wiley-vch.de/books/sample/3527332405_c01.pdf)
- [14] <https://chargedevs.com/features/qa-with-teslas-lead-motor-engineer-full-interview/>
- [15] <https://electronics.stackexchange.com/questions/224797/3-phase-induction-motors-with-poles-not-equal-to-3x>
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Induction\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor)
- [17] <https://cleantechnica.com/2016/05/30/nikola-teslas-19th-century-induction-motor-ideal-choice-21st-century-electric-car/>
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Who\\_Killed\\_the\\_Electric\\_Car%3F](https://en.wikipedia.org/wiki/Who_Killed_the_Electric_Car%3F)
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/Revenge\\_of\\_the\\_Electric\\_Car](https://en.wikipedia.org/wiki/Revenge_of_the_Electric_Car)
- [20] [http://hybridfordonsentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404\\_BMW.pdf](http://hybridfordonsentrum.se/wp-content/uploads/2014/05/20140404_BMW.pdf)
- [21] <http://www.criticalrawmaterials.eu/wp-content/uploads/14-05-07-J-Widmer-CRM-Workshop-Rare-Earth-FINAL.pdf>
- [22] <http://www.greencarcongress.com/2015/04/20150423-voltec.html>
- [23] <http://papers.sae.org/2015-01-1208/>
- [24] <http://www.motortrend.com/news/2016-chevrolet-malibu-hybrid-tech-dive/>
- [25] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7855076/>
- [26] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7855402/>
- [27] [http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=JRJC3\\_2016\\_v21n5\\_381](http://koreascience.or.kr/article/ArticleFullRecord.jsp?cn=JRJC3_2016_v21n5_381)
- [28] <http://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub26762.pdf>
- [29] [https://www.researchgate.net/publication/309082181\\_Design\\_and\\_Comparison\\_of\\_Interior\\_Permanent\\_Magnet\\_Motor\\_Topologies\\_for\\_Traction\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/309082181_Design_and_Comparison_of_Interior_Permanent_Magnet_Motor_Topologies_for_Traction_Applications)
- [30] [https://dokumente.unibw.de/pub/bscw.cgi/d2858545/2008%20ICEM%20\(Hahlbeck%20-%20Gerling\).pdf](https://dokumente.unibw.de/pub/bscw.cgi/d2858545/2008%20ICEM%20(Hahlbeck%20-%20Gerling).pdf)

- [31] [http://saegtl.org/ev/data/uploads/ev-content/etlev\\_tp\\_2014-01-1879.pdf](http://saegtl.org/ev/data/uploads/ev-content/etlev_tp_2014-01-1879.pdf)
- [32] [http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e\\_powertrain.html](http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_powertrain.html)
- [33] G. Pellegrino, Th.M. Jahns, N. Bianchi, W. L. Soong, F. Cupertino. The Rediscovery of Synchronous Reluctance and Ferrite Permanent Magnet Motors. Springer, 2016.
- [34] <https://chargedevs.com/features/2016-chevy-volt-gms-top-electrification-engineers-on-designing-the-all-new-erev/>
- [35] B. F. A. Silva, S. R. Janasi, D. Rodrigues, H. Takiishi, M. F. de Campos . Hybrid bonded rare-earth magnets produced with strontium ferrite and recycled NdFeB powders. In: 22nd International Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications, 2012, Nagasaki. Proceedings of the 22nd International Workshop on Rare-Earth Permanent Magnets and their Applications, 2012. p. 322-325.
- [36] <http://www.freepatentsonline.com/20110057756.pdf>
- [37] <http://ieeexplore.ieee.org/document/6332662/>
- [38] <http://google.tl/patents/US20130038159>
- [39] <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6236184/>
- [40] <http://www.coppermotor.com/wp-content/uploads/2013/08/Techno-Frontier-2013-MBurwell-ICA-EV-Traction-Motor-Comparison-v1.8-Eng1.pdf>
- [41] <http://ieeexplore.ieee.org/document/1519446/>
- [42] <http://ieeexplore.ieee.org/document/4717787/>
- [43] <http://ieeexplore.ieee.org/document/7732538/>
- [44] <https://chargedevs.com/newswire/honda-and-daido-steel-develop-rare-earth-free-neodymium-magnet/>
- [45] <https://chargedevs.com/features/teslas-chief-motor-engineer-discusses-the-potential-of-next-generation-motor-technologies/>
- [46] <http://134.130.107.200/uploads/bibliotest/2014SZDesign.pdf>
- [47] [https://www.researchgate.net/publication/271978958\\_Investigation\\_of\\_Magnet\\_Arrangements\\_in\\_Double\\_Layer\\_Interior\\_Synchronous\\_Permanent\\_Magnet\\_Motor\\_over\\_Wide\\_Speed\\_Range\\_for\\_Electric\\_Vehicle\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/271978958_Investigation_of_Magnet_Arrangements_in_Double_Layer_Interior_Synchronous_Permanent_Magnet_Motor_over_Wide_Speed_Range_for_Electric_Vehicle_Applications)
- [48] [https://www.tatasteleurope.com/static\\_files/Downloads/Energy%20and%20Power/Electrical%20steel/electrical%20steels%20for%20low%20carbon%20vehicles.pdf](https://www.tatasteleurope.com/static_files/Downloads/Energy%20and%20Power/Electrical%20steel/electrical%20steels%20for%20low%20carbon%20vehicles.pdf)
- [49] [https://cogent-power.com/cms-data/downloads/HiLite\\_Brochure.pdf](https://cogent-power.com/cms-data/downloads/HiLite_Brochure.pdf)
- [50] <http://www.nssmc.com/en/tech/report/nsc/pdf/n8813.pdf>
- [51] <http://www.jfe-steel.co.jp/en/research/report/004/pdf/004-12>
- [52] [http://www.jfe-steel.co.jp/archives/en/ksc\\_giho/no.48/e48-033-038.pdf](http://www.jfe-steel.co.jp/archives/en/ksc_giho/no.48/e48-033-038.pdf)
- [53] <http://ieeexplore.ieee.org/document/6425108/>
- [54] <https://www.scientific.net/MSF.869.596>
- [55] M. F. de Campos. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP, 2000.

# Máquinas de Stirling e seu potencial para a Energia Renovável

Amilton Ferreira da Silva Júnior

Campus Angra dos Reis  
CEFET-RJ - GERAC - ARE  
Angra dos Reis, RJ, Brasil  
amilton.junior@cefet-rj.br

Marcos Flavio de Campos

Depto. de Engenharia Mecânica EEIMVR  
UFF – Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda RJ BRASIL  
marcosflavio@id.uff.br

**Resumo**—Máquinas de Stirling podem ser uma importante opção no futuro para aproveitar energia solar. É apresentada uma breve revisão sobre o assunto. Máquinas de Stirling podem ser extremamente simples e baratas. A possibilidade de transformar pequenas diferenças de calor em energia é provavelmente o maior diferencial desse tipo de máquina.

**Palavras-chave**—máquinas de Stirling; energia solar; diferenças de calor; baixo custo.

## I. INTRODUÇÃO

A microgeração e a autogeração deveriam ser fortemente encorajadas pelo governo brasileiro. Mas isto não acontece, em grande parte devido ao “lobby” de grandes empresas elétricas, as quais eram em sua maioria estatais até pouco tempo atrás. Com a privatização do setor elétrico, fica injustificável essa política de favorecimento de grandes empresas. A microgeração e autogeração estimulam muito a pequena empresa, gerando empregos e estimulando a economia. Um efeito colateral da autogeração é contribuir para queda da tarifa de energia elétrica, o que torna o país mais competitivo.

A maneira mais óbvia para o pequeno produtor rural produzir energia é usar pequenas quedas de água [1]. Essa energia pode ser usada, por exemplo, para aquecer granjas, iluminação e qualquer outra aplicação. A mesma água empregada para irrigação pode, ao mesmo tempo, ser usada para gerar energia, desde que exista gravidade envolvida no processo de irrigação. A autogeração corta custos ao pequeno produtor rural, tornando os produtos agrícolas mais competitivos.

Contudo, nem sempre o pequeno produtor rural dispõe de água abundante. No semi-árido brasileiro o Sol é abundante, mas não água. Nesse contexto, máquinas de Stirling podem ser uma solução importante.

Máquinas de Stirling apresentam grande potencial para a geração de energia pois permitem transformar pequenas diferenças de calor em movimento. As máquinas de Stirling podem ser produzidas com materiais de baixo custo, e até mesmo sucata. Uma interessante idéia é aproveitar o efeito estufa para gerar trabalho, como será discutido mais adiante.

Assim, as máquinas de Stirling surgem como uma das maneiras mais eficazes de aproveitar a energia solar. Uma crítica recorrente é o pequeno rendimento de máquinas de Stirling [2], mas mesmo pouca energia pode ser interessante em locais distantes da rede elétrica. Por exemplo, um pequeno produtor rural pode aproveitar o movimento gerado por uma máquina de Stirling para recarregar alguma pequena bateria, talvez uma bateria de celular.

## II. UM BREVE HISTÓRICO DAS MÁQUINAS DE STIRLING

Máquinas de Stirling costumam sempre ser vistas como muito promissoras [3,4]. Contudo esses entusiasmos não necessariamente resultaram em produtos comerciais [3,4]. Ainda hoje, máquinas de Stirling continuam recebendo substancial investimento em pesquisa [5]. A aplicação em pequenas propriedades rurais é uma das possibilidades [6].

Apesar das costumeiras críticas ao baixo rendimento, a Philips foi capaz de apresentar alguns protótipos com alto rendimento [7]. Ítems como regeneração de calor, e escolha dos gases são particularmente importantes.

Na década de 1960, a NASA esteve muito interessada em máquinas de Stirling [8], e muitas pesquisas foram realizadas na Philips. O engenheiro Roelof Jan Meijer

No decorrer de várias décadas, sob a chefia de Meijer, a Philips fez grandes esforços em pesquisa e desenvolvimento no ciclo de Stirling [7]. Porém, essa intensa pesquisa acabou não resultando em equipamentos comerciais. Uma das principais razões é a irregularidade da velocidade dessas máquinas, o que, porém, deixa de ser um empecilho quando geração de energia elétrica.

Outra razão que dificulta a aplicação de máquinas de Stirling é que, embora ar atmosférico possa ser utilizado hélio (muito caro) ou hidrogênio (de difícil armazenagem) são mais adequados para máquinas de maior rendimento. O motor de Stirling sempre contém um fluido comprimido no seu interior como ar, hélio ou hidrogênio.

Contudo, o ciclo de Stirling vem sendo empregado comercialmente para a liquefação de gás Hélio [9,10].

### III. APLICAÇÃO DE MÁQUINAS DE STIRLING EM ENERGIA SOLAR

Uma das aplicações que vem recendo mais atenção é a combinação de CSP (Concentrador Solar Parabólico) com Máquina de Stirling. O laboratório Sandia reportou um recorde de 31,25% de eficiência em conversão [11,12]. No CSP, todos os raios solares são concentrados no foco da parábola, ver Fig. 1.

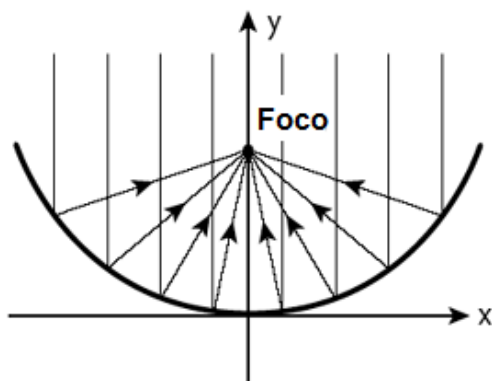


Fig. 1 Parábola e foco da parábola.

Mais recentemente, uma empresa sueca, Ripasso, também está combinando um concentrador solar com uma máquina de Stirling, e menciona um rendimento que pode ser da ordem de acima de 30% [13], o que está acima dos painéis fotovoltaicos.

Entretanto, a combinação CSP – Stirling não vem até o momento sendo plenamente bem sucedida. As principais críticas são alto investimento inicial alto e muitas partes móveis, o que ocasionando frequente manutenção. Uma planta CSP-Stirling está em operação no Arizona, desde 2010 [14]. No sistema SunCatcher do Arizona é usado hidrogênio no motor de Stirling [14]. Esse sistema é particularmente adequado para regiões desérticas, com inexistência de nuvens.

Antes, em 2004, na Espanha, próximo a Sevilha, região mais ao Sul da Espanha, foi construída uma planta experimental CSP Stirling [15,16].

Vários problemas vêm sendo reportados nas plantas experimentais de Sevilha e do Arizona, e entre eles estão a manutenção, e dificuldade de seguir o Sol [17].

O Brasil, especialmente na região do semi-árido no nordeste, recebe uma quantidade significativa de Sol. Portanto o método CSP-Stirling pode ser considerado como uma opção para as regiões do Nordeste com menor precipitação.

Convém lembrar que, na década de 80, as fazendas eólicas eram vistas com ceticismo. Atualmente, a energia eólica está mais barata do que a energia de termoeletricas a carvão. No momento, o Brasil é o 9º país do mundo em capacidade de geração de energia eólica [18].

Pesquisas recentes continuam apostando no sistema CSP-Stirling [19,20]. Existem, portanto, duas vias principais para aplicação e máquinas de Stirling: máquinas de baixo investimento e pequena produção para pequenos proprietários rurais, e grandes plantas de Concentradores Solares Parabólicos CSP, com máquinas de Stirling.

### IV. TIPOS DE MÁQUINAS DE STIRLING

#### A. Princípios básicos das Máquinas de Stirling

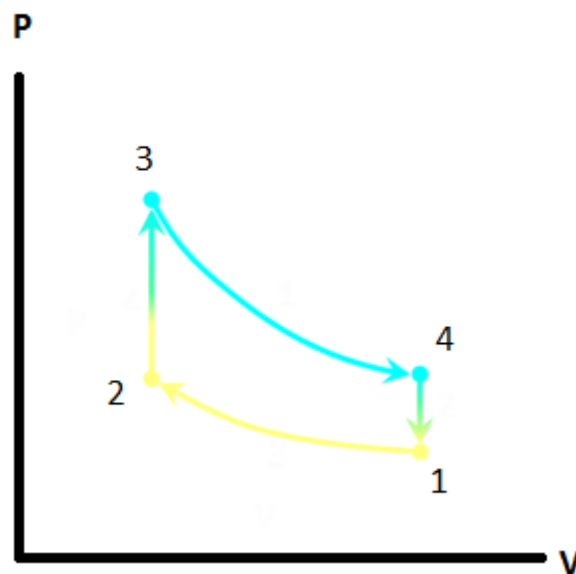


Fig. 2 Ciclo de Stirling.

Conforme apresentado na Fig. 2, Máquinas de Stirling compreendem 2 ciclos isocóricos (volume constante) e 2 ciclos isotérmicos (temperatura constante). O rendimento máximo ( $\eta$ ) das Máquinas de Stirling é dado pela expressão

$$\eta = \frac{T_3 - T_1}{T_3}$$

Em geral, o uso de um regenerador de calor é essencial para aumentar eficiência em motores de Stirling. Fica evidente na equação 1 que grandes diferenças de temperatura são uma das principais metodologias para aumentar a eficiência das máquinas de Stirling. Isso explica a grande popularidade de sistemas com concentrador solar parabólico CSP.

#### B. Os três tipos de motores de Stirling

Existem três tipos básicos de motores de Stirling, alfa, beta e gama [21]. Esses três tipos são exemplificados nas figuras a seguir (2,3 e 4).

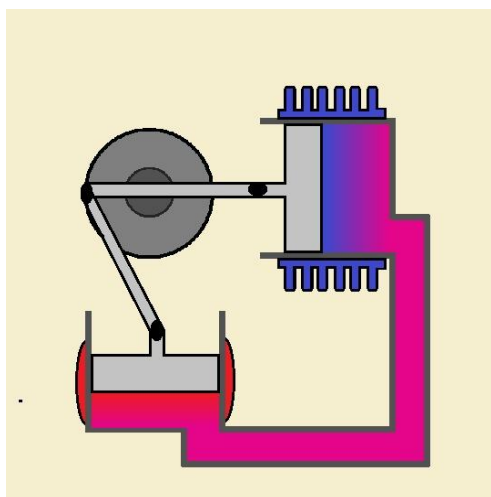


Fig. 6 Motor de Stirling Alfa [21].

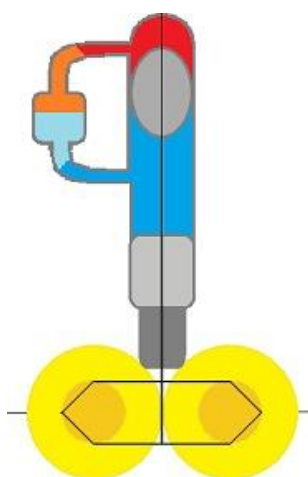


Fig. 4 Motor de Stirling Beta [21].

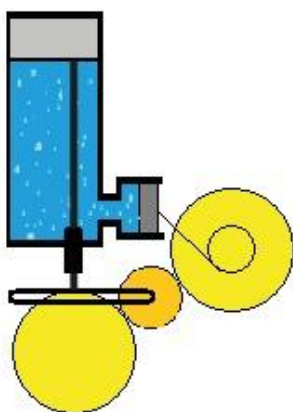


Fig. 5 Motor de Stirling Gama [21].

### C. Gerador Stirling Simplificado

A partir de movimento, é possível gerar energia. Faraday descobriu que um ímã em movimento gera corrente elétrica. Esse resultado é sumarizado na 3ª Equação de Maxwell. A

grande vantagem da máquina de Stirling com alternador linear é a existência de poucas peças móveis. Exemplos de máquinas de Stirling com alternador linear são apresentados nas Fig. 5 e 6 [22,23].

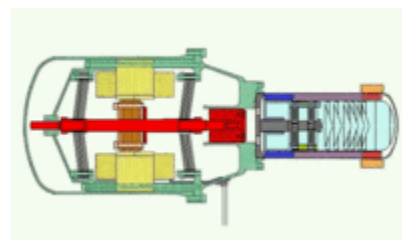


Fig 5. Máquina de Stirling com alternador linear [22].

<http://www.robertstirlingengine.com/other.php>

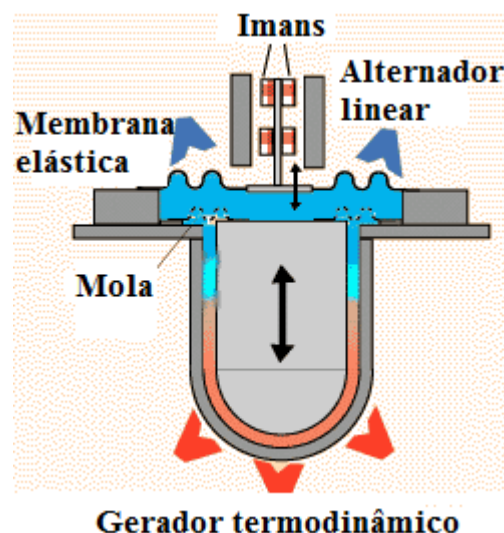


Fig. 6 Alternador linear extremamente simples, usando ímãs e bobina [23].

## V. MÁQUINAS DE STIRLING COMERCIAIS

Uma máquina de Stirling modelo SOLO V161 pode custar 25000 Euros [24,25]. Uma das principais vantagens desse modelo é a possibilidade de microgeração [26]. A SOLO V161 tem um alternador incorporado, capaz de gerar 9 kW [27]. No Brasil, conjuntos Stirling vem sendo considerados para gerar energia a partir de biomassa [27]. O modelo 161 foi utilizado na planta de Almeria na Espanha (Eurodish) [28]. Também na planta de Odeillo, na França, foi instalado um modelo SOLO 161 [29].

Fica evidente, portanto, que um dos principais problemas limitando a microgeração é o elevado tempo de retorno de investimento, i.e., “payback time”. Um tempo de retorno de investimento de 10 anos [30] é muito elevado para uma pequena propriedade ou para a classe média. Porém nas condições do Brasil, com o Sol do equador, esse tempo de retorno deve ser menor.



Ou seja, a popularização da microgeração fica bloqueada pelo alto custo de investimento inicial. A pesquisa em máquinas em máquinas de Stirling deve dedicar mais atenção em sistemas mais acessíveis.

A adaptação de motores ciclo Otto já existentes como máquinas de Stirling é uma possibilidade [27]. Essa é uma área onde a pesquisa deve visar principalmente redução de custo, em vez de aumento de eficiência. Outro ponto de interesse em pesquisa deve ser pequena manutenção com o tempo.

A microgeração Stirling Solar sofre sua principal concorrência dos painéis solares. Segundo o Fraunhofer [31], sistemas de painéis fotovoltaicos podem ter “payback time” de 1 ano em latitudes como a Sicília e 2 anos na Alemanha. Porém, esse número não inclui inversores, custo de instalação, e outros equipamentos associados por exemplo baterias. Uma fonte norte-americana estima em 8 anos o “payback time” [32] da energia solar fotovoltaica. De maneira semelhante, na Inglaterra estima-se em 9 anos o payback time [33].

## VI. CONCLUSÕES

Uma das principais vantagens que uma máquina solar Stirling pode ter sobre um painel fotovoltaico é um baixo investimento inicial, o que implica em curto “payback time”. Porém, se os painéis solares se tornarem mais baratos, a competição fica difícil. Uma grande vantagem dos painéis solares é a inexistência de partes móveis, o que reduz muito custos de manutenção.

## AGRADECIMENTOS

FAPERJ, CNPq.

## REFERÊNCIAS

- [1] D. K. Okot. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 26, October 2013, Pages 515-520
- [2] S. Narayan. A Review of Design of Stirling Engines. Indus International University, Himachal Pradesh, India. Magazine of Hydraulics, Pneumatics, Tribology, Ecology, Sensorics, Mechatronics. No. 3, 2015.
- [3] A. Wyeth. Popular Mechanics, Vol. 139, N° 2, Feb 1973. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=GtUDAAAAMBAJ&printsec=f rontcover&hl=ptBR&source=gb s\_ge\_summary\_r&cad=0#v=onepage& q&f=false>. Acesso em 05/05/2017.
- [4] C. Graber. Are Engines the Future of Solar Power?. Scientific American, 2009. Disponível em: <https://www.scientificamerican.com/article/are-engines-the-future-of-solar-power/>. Acesso em 05/05/2017.
- [5] J. C. Zhao. Free Piston Stirling Engine Based 1kW Generator. Arpa.e 2015. Disponível em: <https://arpa-e.energy.gov/?q=slick-sheet-project/free-piston-stirling-engine-based-1kw-generator>. Acesso em 05/05/2017.
- [6] D. J. Shendage, S. B. Kedare, S. L. Bapat. Renewable Energy Volume 36, Issue 1, Pages 289-297, January 2011.
- [7] J. Korsten, Marc de Vries. 80-years-of-research-at-the-philips-natuurkundig-laboratorium-1914-199

- [8] NASA. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19780023590.pdf> . Acesso em 05/05/2017.
- [9] The history of the Stirling Cycle. Disponível em: <https://www.stirlingcryogenics.com/en/the-stirling-cycle>. Acesso em 07/05/2017.
- [10] N. A. Downie. Industrial Gases 2002. Disponível em: <http://www.springer.com/gp/book/9780751403527>. Acesso em 07/05/2017.
- [11] C. Burroughs. FOR IMMEDIATE RELEASE February 12, 2008. Sandia, Stirling Energy Systems set new world record for solar-to-grid conversion efficiency. Disponível em: <https://share-ng.sandia.gov/news/resources/releases/2008/solargrid.html>. Acesso em 07/05/2017.
- [12] P. Palenzuela, D. C. Alarcón-Padilla, G. Zaragoza. Concentrating Solar Power and Desalination Plants: Engineering and Economics 2015.
- [13] J. Barbee. Could this be the world's most efficient solar electricity system? (2015). Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2015/may/13/could-this-be-the-worlds-most-efficient-solar-electricity-system>. Acesso em 07/05/2017.
- [14] Inaugurada Usina Solar Stirling de Geração de Eletricidade, 2012. Disponível em: <http://www.ecoharmonia.com/2010/09/inaugurada-usina-solar-stirling-de.html>. Acesso em 07/05/2017.
- [15] F. J. G. Granados, M. A. S. Pérez, V. Ruiz-Hernández. THERMAL MODEL OF THE EURODISH SOLAR STIRLING ENGINE. Camino de Los Descubrimientos, 41092 Sevilla, Spain. 2014.
- [16] F. J. G. Granados, M. A. S. Pérez, V. Ruiz-Hernández. Thermal Model of the EuroDish Solar Stirling Engine. J. Sol. Energy Eng 130(1), 011014 (Dec 28, 2007).
- [17] J. Deign. The trouble with dish Stirling CSP. Disponível em: <http://analysis.newenergyupdate.com/csp-today/technology/trouble-dish-stirling-csp>. Acesso em 10/05/2017.
- [18] Ambiente Energia. Brasil alcança 5º lugar no ranking mundial de capacidade de geração eólica. Fev 2017. Disponível em: <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2017/02/brasil-alcanca-5o-lugar-ranking-mundial-de-capacidade-de-geracao-eolica/31124>. Acesso em 10/05/2017.
- [19] F. V. Barbosa, J. L. Afonso, F. B. Rodrigues, J. C. F. Teixeira. Development of a solar concentrator with tracking system. Mech. Sci., 7, 233-245, 2016
- [20] Solartron Energy Systems Inc. Call Us + 1-902-661-2007. Disponível em: <http://www.solartronenergy.com/applications/electricity-stirling-engine-with-solar-concentrator/>. Acesso em 10/05/2017.
- [21] G. Walker. Clarendon Press, Oxford, page 1: "A Stirling engine is a mechanical device which operates on a \*closed\* regenerative thermodynamic cycle, with cyclic compression and expansion of the working fluid at different temperature levels." (1980).
- [22] P. Gras. Stirling Engine. Disponível em: <http://www.robertstirlingengine.com/other.php>. Acesso em 10/05/2017.
- [23] L. Dall’Ora. Analysis and Design of a Linear Tubular Electric Machine for Free-piston Stirling Micro-cogeneration Systems. Università degli Studi di Padova. 2014.
- [24] A. C. Ferreira, R. F. Oliveira, M. L. Nunes, L. B. Martins, S. F. Teixeira. Modelling and Cost Estimation of Stirling Engine for CHP Applications. Proceedings of the 2014 International Conference on Power Systems, Energy, Environment.
- [25] Demonstration Stirling Engine based Micro-CHP with ultra-low emissions. Rapport SGC 144. Disponível em: <http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/SGC144.pdf>. Acesso em 10/05/2017.
- [26] E. D. Rogdakis, G. D. Antonakos, I. P. Koronaki. Thermodynamic analysis and experimental investigation of a Solo V161 Stirling cogeneration unit. Energy, Volume 45, Issue 1, September 2012, Pages 503-511.



- [27] C. H. F. da Silva, V. A. Medeiros, A. M. Carvalho. GERAÇÃO COM MOTOR STIRLING. XX SNPTTE SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Recife – PE. 2009. Disponível em: <<http://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/GERA%C3%87%C3%83O-COM-MOTOR-STIRLING.pdf>>. Acesso em 10/05/2017.
- [28] ProEcoPolyNet Fact Sheet "SOLO Stirling 161". Disponível em: <<http://www.buildup.eu/sites/default/files/content/SOLO%20Stirling%20161.pdf>>. Acesso em 10/05/2017.
- [29] Bundesumweltministerium, Berlin; PROMES-CNRS, Odeillo, France. Disponível em: <<http://www.sbp.de/en/project/10-kw-dishstirling-eurodish-country-reference-unit/>>. Acesso em 10/05/2017.
- [30] A. C. Ferreira, M. L. Nunes, J. C.F. Teixeira, L. A.S.B. Martins. Thermodynamic and economic optimization of a solar-powered Stirling engine for micro-cogeneration purposes. Energy. Volume 111, 15 September 2016, Pages 1–17.
- [31] Agora Energiewende. Current and Future Cost of Photovoltaics. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>>. Acesso em 10/05/2017.
- [32] News Energysage. Disponível em: <<http://news.energysage.com/understanding-your-solar-panel-payback-period/>>. Acesso em 12/05/2017.
- [33] Thegreenage. The cost of a solar PV system. Disponível em: <<http://www.thegreenage.co.uk/tech/the-cost-of-a-solar-pv-system/>>. Acesso em 12/05/2017.



# Dessalinização e sua relevância para o Brasil em um futuro próximo

Amilton Ferreira da Silva Júnior

Campus Angra dos Reis  
CEFET/RJ – GERAC - ARE  
Angra dos Reis, RJ, Brasil  
amilton.junior@cefet-rj.br

Marcos Flavio de Campos

Depto. de Engenharia Mecânica - EEIMVR  
UFF – Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda RJ BRASIL  
marcosflavio@id.uff.br

**Resumo**—Os principais métodos de dessalinização em uso atualmente são discutidos. É dedicada especial atenção a sistemas de baixo custo adequados a pequenos produtores rurais. Sistemas de dessalinização de baixo custo são possíveis. Um dessalinizador solar a custo zero é apresentado, e um dessalinizador manual por osmose reversa feito de tubos de PVC pode ser construído por R\$500.

**Palavras-chave**—*component; formatting; style; styling; insert (key words)*

## I. INTRODUÇÃO

O ano de 2015 mostrou que secas de grande severidade podem acontecer no Brasil. No caso de cidades próximas ao litoral, dessalinização é uma possibilidade interessante. Por exemplo, Fernando de Noronha [1-3] e Fortaleza no Ceará [4-6] são locais onde dessalinização em grande escala vem sendo estudadas ou aplicadas. Também o Rio Grande do Norte vem considerando essa tecnologia [7].

O objetivo do presente estudo é discutir as possibilidades para dessalinização e sua viabilidade econômica no Brasil. Um item muito importante é o “payback time” ou tempo de retorno de investimento. No caso de pequenos proprietários rurais, soluções com baixo investimento são essenciais.

A água pode ser usada de diferentes maneiras: como água potável e para a alimentação de seres humanos, para animais em fazendas ou sítios, ou para irrigação. As quantidades são muito diferentes em cada um desses casos.

O Brasil tem uma região com baixo índice de chuvas conhecida como semi-árido, ver figura 1. Na região do semi-árido, muitos poços fornecem água salobra, a qual necessita ser dessalinizada.

Existem dois principais métodos, por destilação ou por membrana. Existem grandes plantas de dessalinização por membrana no mundo, por exemplo em San Diego e em Barcelona. Porém, pouco investimento inicial, ou seja, pequeno “payback time” é importante, para tornar a água dessalinizada acessível a pequenas comunidades.

Neste estudo é apresentada uma breve revisão sobre sistemas de dessalinização e sua aplicação em situações brasileiras. O custo da dessalinização por membrana vem caindo, e a água dessalinizada por este método não é muito

mais cara que água tratada. Estima-se que o custo da água dessalinizada nos Estados Unidos é de U\$2.5 a \$5 por milhares de galões, enquanto que o da água tratada é U\$2 [8]. Porém, o principal insumo é energia elétrica, e em locais onde a energia elétrica é cara, a água dessalinizada tem custos maiores. Um problema a ser considerado é a água salina que retorna ao oceano, fazendo aumentar o grau de salinidade nas regiões próximas às usinas de dessalinização [9].

O Nordeste do Brasil tem ventos fortes e estáveis, com o potencial de gerar energia elétrica a um custo muito baixo [10,11]. A geração de energia eólica combinada a plantas de dessalinização pode ser uma opção viável para estados como o Ceará e o Rio Grande do Norte.

## II. PLANTAS DE DESSALINIZAÇÃO NO MUNDO

Muitas plantas gigantes de dessalinização foram construídas nos últimos 10 anos, sendo que Barcelona, em 2008, é uma das pioneiras. Secas severas na Califórnia motivaram a construção de várias usinas ao longo do Oceano Pacífico [12,13].

A planta de dessalinização em San Diego (Carlsbad) custou \$1 bilhão de dólares, e necessita \$50 milhões por ano de eletricidade. O custo da água em San Diego é mais que o dobro da maioria das cidades no Sul da Califórnia [12], por conta da planta de Carlsbad. Outra planta de dessalinização está prevista para a Califórnia, em Huntington Beach, também ao custo de 1 bilhão de dólares [13]. Outra cidade com planta de dessalinização é El Paso no Texas [14]. Até mesmo Londres tem uma planta de dessalinização [15], uma prevenção contra possíveis secas.

Um país com grande número de plantas de dessalinização é a Espanha. Nas ilhas Canárias, a ausência de água doce é um problema muito sério, o que fez com que Espanha desenvolvesse a tecnologia de dessalinização. A falta de água nas ilhas Canárias foi um importante motivador para o desenvolvimento dessas tecnologias. Tem sido afirmado que as plantas de dessalinização das ilhas Canárias foram essenciais para o crescimento econômico dessa região [16]. A primeira planta em Lanzarote produzia 2500 m<sup>3</sup>/dia. Atualmente existem 281 plantas na província de Las Palmas e 46 na província de Santa Cruz de Tenerife [16].

A Tabela I apresenta as principais plantas de dessalinização da Espanha situadas na Europa, ao longo do Mar Mediterrâneo [16-18].

Tabela I. Plantas de dessalinização na Espanha

Planta	Produção hm³/ano.	Habitantes beneficiados	Área irrigada(hectares)
Barcelona	60	1.300.000	
Torevieja (Alicante)	80	140.000	8.000
Del Bajo Almanzora (Almería)	15	140.000	24.000
Carboneras (Almería)	42	200.000	7.000
Campo de Dalías (Almería)	30.1	300.000	
Oropesa (Castellón):	13.5	150.000	
El Atabal (Málaga)	76		
Valdelentisco (Murcia):	70	60.000	7.577
Águilas/Guadalentín (Murcia):	70	130.000	
Sagunto (Valencia)	25.6	65.000	
De La Marina Baja (Alicante)	18	200.000	
Moncofa (Castellón)	19.8	120.000	
Marbella (Málaga):			
De L'Eljana (Valencia):		30.000	

As soluções energéticas para as ilhas Canárias podem servir de inspiração a Fernando de Noronha. Por exemplo, a ilha de El Hierro desenvolveu um sistema de energia eólica conjugado com armazenamento hídrico, o qual também pode ser aplicado para irrigação [19,20]. O sistema de El Hierro também conta com dessalinizadoras associadas ao sistemas de geração de energia [21,22].

Outros país com muita tecnologia em dessalinização é Israel [23-25]. A experiência de Israel mostra que dessalinização pode ser economicamente viável.

Israel tem grande experiência em processos térmicos de dessalinização [26-28], como MSF “multi-stage flash” and MED “multiple effect distillation”. Esses processos eram muito utilizados quando não existia separação por membrana em escala industrial. O processo MED tem o problema de sofrer incrustação de sulfato de cálcio  $\text{CaSO}_4$  nas tubulações. Outros sais que geram incrustação são hidróxido de magnésio ( $\text{Mg(OH)}_2$ ) e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Por conta dos problemas de incrustação, o processo MSF tornou-se o principal processo térmico para dessalinização, pois o MSF permite a limpeza dos sais incrustados.

Os processos térmicos são especialmente adequados em regiões muito quentes, próximas ao Equador, podendo ser muito mais econômicos em termos de energia elétrica do que a separação por membrana. A partir dos anos 1980, os processos de separação por membrana tornaram-se competitivos economicamente [29]. Porém, se for necessário um tratamento da água prévio à osmose reversa, isso aumenta os custos, e então os processos térmicos podem ser mais competitivos economicamente.

A principal idéia nos processos térmicos é reduzir a pressão de vapor da água, o que permite evaporação a temperaturas mais baixas.

### III. DESSALINIZAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL

### A. O Semi-árido no Brasil

O semi-árido tem precipitação de chuvas média entre 200 mm e 400 mm. Segundo a classificação brasileira, o clima semiárido é aquele com precipitação inferior a 1000 mm, ver Fig. 1. [30]



Fig. 1. Região classificada como Semi-árido Brasileiro [30].

Matéria de 2014 na Revista “Em Discussão”, do Senado Brasileiro, afirma que dessalinização por destilação apresentaria um custo 10-15 vezes superior ao uso de membranas [31]. Isso não é necessariamente verdade, pois é possível construir sistemas de destilação a custo muito baixo. Talvez o principal problema da separação por membrana é que ele acarreta custos contínuos, pois as membranas precisam ser trocadas, as bombas d’água precisam sofrer manutenção, e a eletricidade é o principal insumo. A energia elétrica é muito cara no Brasil [32-34].

Uma solução bem simples foi apresentada por alunas de uma escola em Bela Cruz no Ceará. A notícia enfatiza: por R\$500 reais é possível evitar um gasto de R\$ 50.000 com um dessalinizador sofisticado [35,36]. Neste caso, o longo “payback time” também foi evitado, e essa é a grande relevância dos projetos de baixo custo. Dentro desse contexto, fica demonstrada a pouca viabilidade econômica do caríssimo

sistema proposto em Riacho das Almas, em Pernambuco, a um custo de R\$ 120.000 [37,38].

Um dos objetivos do presente estudo é mostrar que dessalinização é possível evitando sistemas dispendiosos. Na seção seguinte será explicado como fazer um sistema a custo zero, aproveitando apenas garrafas pet e latinhas de refrigerante ou cerveja. Assim, nem mesmo os R\$500 supramencionados seriam necessários, apenas sucata. Ou seja, é possível fabricar sistemas de dessalinização por destilação muito simples, que funcionarão desde que exista sol abundante.

A transposição do rio São Francisco tem o objetivo de aliviar o problema da seca na região do semi-árido [39-41]. Contudo, algumas regiões distantes dos canais continuarão sem acesso fácil a água. É importante, portanto, contar com sistemas de dessalinização nos municípios mais distantes, principalmente se o custo for baixo.

#### IV. DESSALINIZAÇÃO POR DESTILAÇÃO

O efeito estufa pode ser aproveitado para dessalinização. Ondas longas não são aprisionadas pela estufa. Porém ondas curtas, como infravermelho, ficam contidas pelo vidro ou plástico promovendo aquecimento do ambiente, ver Fig. 2. Pela mesma razão, um carro exposto ao Sol fica extremamente quente. Plásticos ou vidros podem ser utilizados.

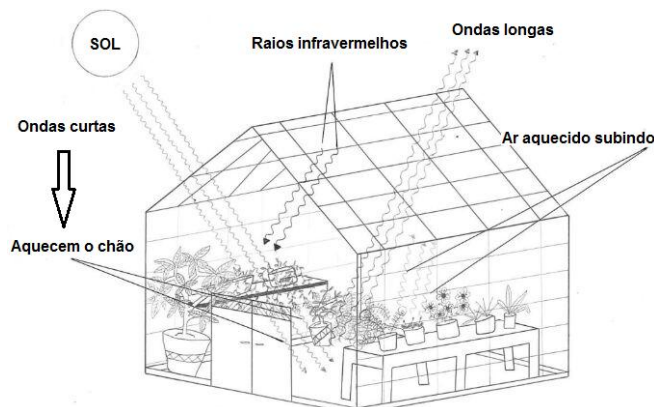


Fig. 2. Estufa com cobertura de plástico ou vidro.

A Húngara radicada nos Estados Unidos Maria Telkes foi uma das grandes pioneiras em energia renovável [42]. Durante a segunda guerra mundial, os Estados Unidos incluíam no kit de sobrevivência um dessalinizador que provavelmente salvou a vida de pilotos náufragos no Oceano Pacífico. Basicamente, um saco plástico transparente é suficiente para construir um destilador, ver Fig. 3 [43].

Uma alternativa interessante é o uso de garrafas PET [44]. Esses projetos fornecem água potável suficiente para uma pessoa por dia, mas podem ser ampliados, por exemplo para um conjunto de garrafas pet, ver Fig. 4. O sistema da Fig. 4 é construído a custo zero, pois, uma latinha e uma garrafa pet juntas funcionam como dessalinizador. A única alteração

necessária é cortar a garrafa pet no alto, para propiciar a entrada da latinha. A água salgada é colocada no interior da latinha e, no final do dia, a água dessalinizada é coletada no interior da garrafa pet, que precisa ficar exposta ao Sol.

Dec. 10, 1968 M. TELKES 3,415,719  
COLLAPSIBLE SOLAR STILL WITH WATER VAPOR PERMEABLE MEMBRANE  
Filed May 11, 1966

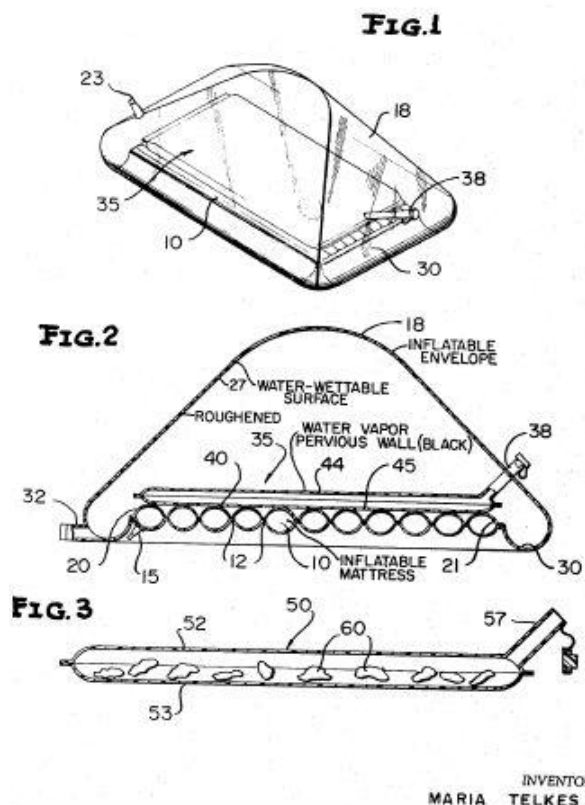


Fig. 3. A patente de Maria Telkes [43].

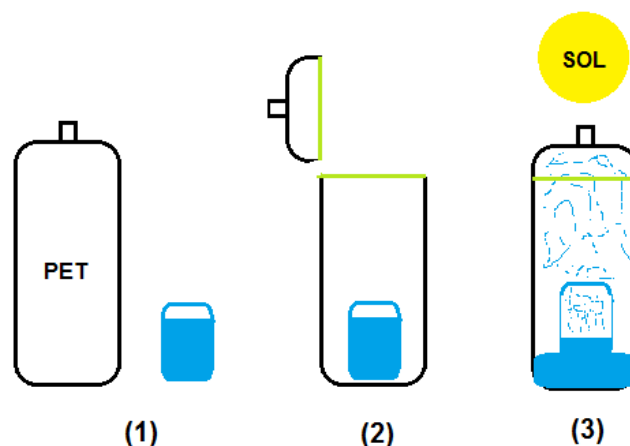


Fig.4. Sistema de dessalinização utilizando uma garrafa pet e uma latinha cheia com água salgada.

#### V. DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Para grandes plantas de dessalinização, a dessalinização por osmose reversa em geral é, em termos de custo, muito mais eficiente do que por destilação. Porém, o principal insumo é energia elétrica. Existem dessalinizadores manuais, por exemplo o Katadyn survivor 35, que gera 4.5 litros de água por hora e custa US\$ 500-600 [45]. Porém, esse custo (R\$2000) é proibitivo para o pequeno produtor rural.

A fig 5 mostra o princípio físico da osmose reversa [46]. É necessário aplicar uma pressão, que se opõe “a pressão osmótica.

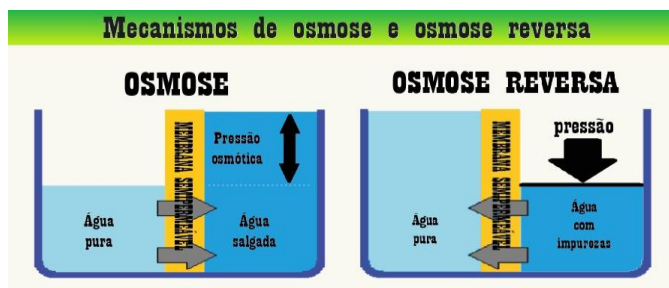


Fig. 5 Mecanismo de osmose e osmose reversa [46].

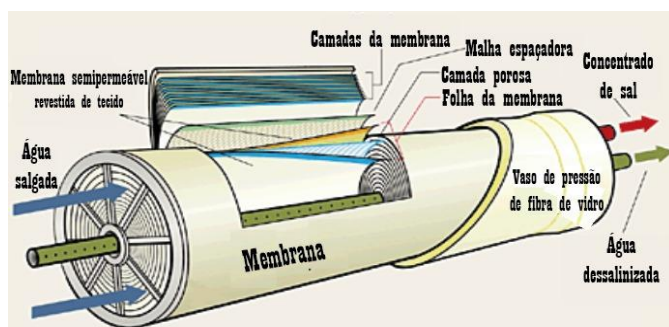


Fig. 6 Membrana semipermeável [29].

Um filtro para osmose reversa, com capacidade de 380 galões por dia (100 litros/dia), custa em torno de R\$ 160, no Mercado Livre (origem chinesa, várias marcas). Uma opção economicamente viável é uma bomba manual, usando esse tipo de filtro. Essa é uma solução viável para um pequeno proprietário rural, que precise ter água potável suficiente para humanos e animais.

Uma solução possível e barata é uma bomba de dupla ação [47], ver Fig. 7, feita de PVC [48], similar às bombas usadas para encher bolas de futebol ou caiaques [49].

Acreditamos que seja possível construir um dessalinizador manual, por osmose reversa, a um custo em torno de R\$500.

Existem várias sugestões de construções de bombas simples, a partir de tubos de PVC [50-52].

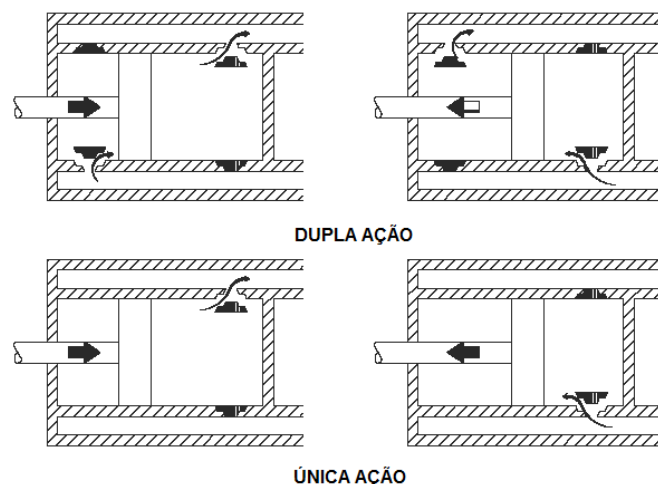


Fig. 7 Bombas de dupla ação e única ação [47]

## VI. CONCLUSÕES

Foram discutidos, de maneira breve, os principais sistemas de dessalinização em uso no mundo. Há uma grande diferença entre plantas de grande porte que fornecem água a milhares de pessoas, e entre sistemas simples adequados ao pequeno produtor rural. Mostramos que é possível construir dessalinizadores por destilação a um custo quase zero, e que é possível construir dessalinizadores manuais (osmose reversa) a um custo de aproximadamente R\$ 500, o que está dentro da capacidade de investimento do pequeno produtor rural.

## AGRADECIMENTOS

CNPq, FAPERJ.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. Rodrigues, H. Brenha. Folha de São Paulo (2014). Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2014/09/1512291-dessalinizacao-atenuou-acionamento-em-arquipelago.shtml>>. Acesso em 07/05/2017.
- [2] Ambiente Energia. Usina Solar Noronha II é inaugurada em Fernando de Noronha (2015). Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2015/07/usina-solar-noronha-ii-e-inaugurada-em-fernando-de-noronha/26666>>. Acesso em 07/05/2017.
- [3] Secretaria de Energia e Mineração de São Paulo. Fernando de Noronha passa a contar com redes elétricas inteligentes (2016). Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2016/12/fernando-de-noronha-passa-contar-com-redes-eletricas-inteligentes/>>. Acesso em 07/05/2017.
- [4] G1. Sistema de dessalinização deve gerar 15% da água consumida em Fortaleza (2017). Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/noticia/2017/03/sistema-de-dessalinizacao-deve-gerar-15-da-agua-consumida-em-fortaleza.html>>. Acesso em 07/05/2017.



- [5] Diário do Nordeste. Italianos querem usina de dessalinização no CE (2017). Disponível em: <<http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/italianos-querem-usina-de-dessalinizacao-no-ce-1.1689264>>. Acesso em 10/05/2017.
- [6] EBC Agência Brasil. Seca prolongada no Nordeste desperta interesse por dessalinização (2017). Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2017-03/seca-prolongada-no-nordeste-desperta-interesse-por>>. Acesso em 10/05/2017.
- [7] Tribuna do Norte. Zona Norte entra em racionamento de água (2017). Disponível em: <<http://www.tribunadonorte.com.br/noticia/ dessaliniza-a-o-da-a-gua-do-mar-pode-ser-opa-a-o-no-rn/316730>>. Acesso em 10/05/2017.
- [8] B. Bienkowski. "O" PRI. Desalination is an expensive energy hog, but improvements are on the way (2015). Disponível em: <<https://www.pri.org/stories/2015-05-15/desalination-expensive-energy-hog-improvements-are-way>>. Acesso em 10/05/2017.
- [9] R. Smith, A. Purnama, H.H. Al-Barwani. Applied Mathematical Modelling, Volume 31, Issue 10, October 2007, Pages 2347-2354.
- [10] JC. Energia eólica salva abastecimento do Nordeste (2017). Disponível em: <<http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/economia/ pernambuco/noticia/2017/01/15/energia-eolica-salva-abastecimento-do-nordeste--266841.php>>. Acesso em 10/05/2017.
- [11] Estadão. Energia eólica já abastece mais de 30% do Nordeste (2016). Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral, energia-eolica-ja-abstece-mais-de-30-do-nordeste-do-nordeste,10000058029>>. Acesso em 10/05/2017.
- [12] D. Gorn. Desalination's Future in California Is Clouded by Cost and Controversy. KQED (2016). Disponível em: <<https://www.kqed.org/science/2016/10/31/desalination-why-tapping-sea-water-has-slowed-to-a-trickle-in-california>>. Acesso em 10/05/2017.
- [13] B. Boxall. A \$1-billion desalination plant might be coming to Huntington Beach, but it will test California's environmental rules. Los Angeles Times (2016). Disponível em: <<http://www.latimes.com/local/lanow/la-me- poseidon-desalination-20161005-snap-story.html>>. Acesso em 12/05/2017.
- [14] A. Martinez. Council OKs deal for \$65M water plant. El Paso Times (2015). Disponível em: <<http://www.elpasotimes.com/story/news/2015/10/13/council-oks-deal-65m-water-plant/73874368/>>. Acesso em 12/05/2017.
- [15] S. J. Bell. The Place That Will Save Us When There's A Drought: London's Desalination Plant. Londonist (2016). Disponível em: <<http://londonist.com/2015/10/london-s-desalination-plant>>. Acesso em 12/05/2017.
- [16] Aquae Fundación. Plantas desaladoras em Espanã (2016). Disponível em: <<http://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/datos-del-agua/plantas-desaladoras-en-espana>>. Acesso em 12/05/2017.
- [17] Water-technology.net. Barcelona Sea Water Desalination Plant, Spain (2016). Disponível em: <<http://www.water-technology.net/projects/barcelonadesalination>>. Acesso em 12/05/2017.
- [18] Generalitat de Catalunya gencat.cat. The largest desalination plant in Europe (2016). Disponível em: <<http://www.gencat.cat/especial/prat/eng/que.htm>>. Acesso em 12/05/2017.
- [19] R. Andrews. An Independent Evaluation of the El Hierro Wind & Pumped Hydro System. Energy Matters (2017). Disponível em: <<http://euanmearns.com/an-independent-evaluation-of-the-el-hierro-wind-pumped-hydro-system>>. Acesso em 12/05/2017.
- [20] R. Andrews. El Hierro Renewable Energy Project – September 2015 Performance Review. Energy Matters (2015). Disponível em: <<http://euanmearns.com/el-hierro-renewable-energy-project-september-2015-performance-review>>. Acesso em 12/05/2017.
- [21] Lainformacion. El Hierro incrementará su red de desalación de aguas con una en El Golfo (2012). Disponível em: <[http://www.lainformacion.com/politica/autoridades-locales/el-hierro-incrementara-su-red-de-desalacion-de-aguas-con-una-en-el-golfo\\_WZG8MTNbVeUrdGnWCJvOi5/](http://www.lainformacion.com/politica/autoridades-locales/el-hierro-incrementara-su-red-de-desalacion-de-aguas-con-una-en-el-golfo_WZG8MTNbVeUrdGnWCJvOi5/)>. Acesso em 13/05/2017.
- [22] Lainformacion. El Hierro incrementará su red de desalación de aguas con una en El Golfo (2012). Disponível em: <[http://www.lainformacion.com/politica/autoridades-locales/el-hierro-incrementara-su-red-de-desalacion-de-aguas-con-una-en-el-golfo\\_WZG8MTNbVeUrdGnWCJvOi5/](http://www.lainformacion.com/politica/autoridades-locales/el-hierro-incrementara-su-red-de-desalacion-de-aguas-con-una-en-el-golfo_WZG8MTNbVeUrdGnWCJvOi5/)>. Acesso em 13/05/2017.
- [23] R. Jacobsen. Israel Proves the Desalination Era Is Here. Scientific American (2016). Disponível em: <<https://www.scientificamerican.com/article/israel-proves-the-desalination-era-is-here/>>. Acesso em 13/05/2017.
- [24] S. Kaushal, S. Bansal. Israel 'hand-makes' more than 50% of its water!. India water portal (2016). Disponível em: <<http://www.indiawaterportal.org/articles/israel-hand-makes-more-50-its-water>>. Acesso em 13/05/2017.
- [25] E. Harris. Israel Bringing Its Years Of Desalination Experience To California. Parallels (2015). Disponível em: <<http://www.npr.org/sections/parallels/2015/06/14/413981435/israel-bringing-its-years-of-desalination-experience-to-california>>. Acesso em 13/05/2017.
- [26] T. Freyberg. Thermal desalination won't be killed off by RO membranes, says IDE Technologies. WaterWorld (2013). Disponível em: <<http://www.waterworld.com/articles/2013/06/thermal-desalination-wont-be-killed-off-by-ro-membranes-says-ide.html>>. Acesso em 13/05/2017.
- [27] Sidem Entropie. Multiple Effect Distillation (2016). <<http://www.veoliawatertech.com/nawatersystems/ressources/documents/1/20581.MultiEffectDistillation.pdf>>. Acesso em 13/05/2017.
- [28] D. J. Pannell, L. McCann. "The economics of desalination and its potential application in Australia, SEA Working Paper 01/02". University of Western Australia, Perth. Archived from the original on 2007-09-03. Retrieved 2006-11-13.
- [29] E. Tzen. Desalination Technologies, PRODES (2016). Disponível em: <[http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/PRODES/DESALINATION\\_GENERAL\\_1.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/PRODES/DESALINATION_GENERAL_1.pdf)>. Acesso em 13/05/2017.
- [30] J. E. Oliver. The Encyclopedia of World Climatology (Encyclopedia of Earth Sciences Series), 854 pp., Publisher: Springer, Language: English, ISBN 1402032641, 2005.
- [31] Senado Federal. Dessalinizar a água é cada vez mais viável (2016). Disponível em: <<http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/escassez-de-agua/materia.html?materia=dessalinizar-a-agua-e-cada-vez-mais-viavel.html>>. Acesso em 13/05/2017.
- [32] Folha de São Paulo. Brasil tem energia mais cara para indústria do mundo, segundo Firjan. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/03/1609268-brasil-tem-energia-mais-cara-para-industria-do-mundo-segundo-firjan.shtml>>. Acesso em 13/05/2017.
- [33] A. Fuentes. Brasil piora em ranking e passa a ser o 6º com a energia mais cara do mundo. Veja (2015). Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/blog/impavido-colosso/brasil-piora-em-ranking-e-passa-a-ser-o-6-com-a-energia-mais-cara-do-mundo/>>. Acesso em 13/05/2017.
- [34] Ilumina. Instituto de Desenvolvimento Estratégico do Setor Energético. Tarifa de energia elétrica brasileira. Espantado? (2016). Disponível em: <<http://ilumina.org.br/tarifa-de-energia-eletrica-brasileira-espantado-artigo>>. Acesso em 13/05/2017.
- [35] G1 (2015). Disponível em: <<http://g1.globo.com/ceara/ne-rural/videos/v/alunas-de-bela-cruz-no-ceara-criam-um-dessalinizador-de-agua-economico/4394034>>. Acesso em 14/05/2017.
- [36] Tribuna Ceará (2015). Disponível em: <<http://tribunadoceara.uol.com.br/audios/tribuna-band-news-fm/alunas-de-escola-publica-cearense-criam-dessalinizador-que-funciona-com-energia-solar>>. Acesso em 14/05/2017.
- [37] G1 (2014). Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2014/09/sistema-de-dessalinizacao-da-agua-ja-e-usado-em-nove-estados-no-brasil.html>>. Acesso em 14/05/2017.

- [38] G1 (2015). Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-hoje/noticia/2015/07/dessalinizador-transforma-agua-salgada-em-potavel-sem-usar-energia.html>>. Acesso em 14/05/2017.
- [39] A tarde (2016). Disponível em: <<http://atarde.uol.com.br/economia/noticias/1855278-governo-assina-contrato-para-retomada-de-obras-na-transposicao-do-sao-francisco>>. Acesso em 14/05/2017.
- [40] O Cafezinho (2016). Disponível em: <<http://www.ocafezinho.com/2016/09/27/transposicao-do-rio-sao-francisco-e-adiado-para-2018-mesmo-com-90-das-obras-finalizadas/>>. Acesso em 14/05/2017.
- [41] S. S. Maior. Jornal da Paraíba (2017). Disponível em: <<http://blogs.jornaldaparaiba.com.br/suetoni/2017/02/10/ministro-promete-ricardo-o-terceiro-eixo-da-transposicao/>>. Acesso em 14/05/2017.
- [42] J. Bundschuh. Renewable energy applications for freshwater production. CRC Press 2012.
- [43] M. Telkes. Patente Dec. 10, 1968 3,415,719. Disponível em: <<https://www.google.com/patents/US3415719>>. Acesso em 14/05/2017.
- [44] Science How Stuff Works (2017). Disponível em: <<http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/how-to-make-solar-water-heater-using-can.htm>>. Acesso em 14/05/2017.
- [45] Amazon (2017). Disponível em: <[https://www.amazon.com/gp/offer-listing/B000F3CH01/ref=dp\\_olp\\_all\\_mbc?ie=UTF8&condition=all](https://www.amazon.com/gp/offer-listing/B000F3CH01/ref=dp_olp_all_mbc?ie=UTF8&condition=all)> Acesso em 14/05/2017.
- [46] M. B. Brennan, C&EN Washington. Science & Technology: Waterworks (2002). Disponível em: <<https://membrane.ces.utexas.edu/2012/08/09/cen-science-technology-waterworks/>>. Acesso em 14/05/2017.
- [47] Lpskenbec (2015). Disponível em: <<http://www.lpskenbec.com/documents/faqs/SingleOrDoubleAction-en.pdf>>. Acesso em 14/05/2017.
- [48] A. P. Brand. Low-cost pump alternatives for rural communities in Honduras. Meeting demand for access to safe drinking water, Water and Sanitation Program (WSP), Lima, Peru (2004).
- [49] Tribord (2017). Disponível em: <[https://www.tribord.com.br/bomba-manual-de-dupla-acao-varios-bocais-id\\_8174054](https://www.tribord.com.br/bomba-manual-de-dupla-acao-varios-bocais-id_8174054)>. Acesso em 14/05/2017.
- [50] Youtube (2014). Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=GsqHO1\\_0kTA](https://www.youtube.com/watch?v=GsqHO1_0kTA)>. Acesso em 14/05/2017.
- [51] Youtube (2016). Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=tLrwVZXfrp4>>. Acesso em 14/05/2017.
- [52] Youtube (2015). Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=N2iEkx\\_CmjE](https://www.youtube.com/watch?v=N2iEkx_CmjE)>. Acesso em 14/05/2017.

# Estado da Arte sobre as inovações na cadeia de processamento da mandioca para produção de farinha seca

Yasmim Aparecida de Oliveira Chaves

Escola Superior de Tecnologia e Gestão - ESTiG

Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

Grupo de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia (GEEMAT), CEFET/RJ – Campus A. dos Reis,

Angra dos Reis, Brasil/ yasmim.chaves@hotmail.com

Ronney Arismel Mancebo Boloy

Grupo de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia (GEEMAT), CEFET/RJ – Campus A. dos Reis, Angra dos Reis, Brasil/ ronney.boloy@cefet-rj.br

Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Escola Superior de Tecnologia e Gestão - ESTiG

Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal  
osoares@ipb.pt

## Resumo

A mandioca é uma cultura tropical que tem grande importância na segurança alimentar e supre exigências nutricionais, por isso seu plantio está crescendo a cada ano. A produção mundial de mandioca é de cerca de 276,7 milhões de toneladas por ano, sendo a Nigéria o maior produtor mundial com 19,5% de produção, seguida da Tailândia com 10,9% e da Indonésia com 8,6% de produção. O Brasil está em 4º lugar com 7,7% da produção mundial. O principal produto produzido a partir de mandioca é a farinha seca, atingindo níveis acima de 90%. Como um subproduto deste processo, temos um efluente industrial chamado "manipueira", que é liberado durante o processo de prensagem. Esse efluente é muito tóxico e poluente quando não tratado, apresentando também alto potencial em gás metano e, portanto, podendo ser usado como recurso energético para a produção de biocombustíveis. O biogás é um biocombustível produzido a partir de uma mistura gasosa de principalmente de dióxido de carbono com gás metano. Sua produção pode ocorrer naturalmente através da ação de bactérias em materiais orgânicos ou artificialmente. Esta revisão tem como objetivo coletar e apresentar uma visão geral da produção atual de Biogás através da fermentação anaeróbica manipueira, utilizando-a como fonte de energia na alimentação de um sistema de cogeração composto por uma turbina a gás e recuperador de calor, cujo objetivo é gerar energia elétrica e térmica. A cogeração de energia é um processo que aproveita o calor rejeitado na combustão de combustíveis, tornando o sistema mais eficiente.

**Palavras-chave:** energia, mandioca, manipueira, biogás, cogeração de energia.

## I. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta de fácil cultivo, devido a seu baixo custo de produção, ampla adaptação a diferentes condições climáticas e solo e tolerância ao ataque de pragas. Originária da América do Sul, é um dos principais alimentos energéticos para mais de 700 milhões de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento. [1]

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO [2], a cultura da mandioca é encontrada em mais de 100 países, registrando crescimento médio de 13,9% nos últimos 5 anos e atingindo

275 milhões de toneladas no ano de 2013, como apresentado na tabela a seguir:

TABELA 1 – PARTICIPAÇÃO DOS PRINCIPAIS PAÍSES NA PRODUÇÃO MUNDIAL DE MANDIOCA EM RAIZ NOS ANOS DE 1970 A 2013.

Países	1970	2010	2011	2012	2013	Δ% 2013/1970
<b>África</b>	40,5	134,4	141,2	146,4	157,7	289,4
Nigéria	10,2	42,5	46,2	51,0	53,0	419,6
Congo	10,3	15,0	15,0	12,0	12,5	21,4
Gana	1,5	13,5	14,2	14,5	16,0	967,0
Outros	18,5	63,4	65,8	68,9	76,2	312,0
<b>Ásia</b>	23,1	75,0	80,5	89,0	88,3	282,3
Tailândia	3,2	22,0	21,9	29,8	30,2	843,8
Indonésia	10,7	24,0	24,1	24,2	23,9	123,4
Outros	9,2	29,0	34,5	35,0	34,2	271,7
<b>América do Sul</b>	35,5	31,9	31,8	28,9	28,8	18,9
Brasil	30,0	25,0	25,4	23,0	21,5	283,0
Outros	5,5	6,9	6,4	5,9	7,3	32,7
<b>TOTAL</b>	99,1	241,3	253,5	264,3	274,8	177,3

\*Valores em milhões de toneladas.

Fonte: [2] FAO (2015), [3] SEAB/DERAL (2015/16)

Durante o período de 2015/16, a produção mundial de mandioca atingiu cerca de 276,7 milhões de toneladas, sendo a Nigéria o maior produtor mundial com 19,5% da produção, seguida pela Tailândia com 10,9% e Indonésia com 8,6%. O Brasil encontra-se em 4º lugar com 7,7% da produção mundial. [1][2]

Nos países Africanos, a mandioca é consumida principalmente *in natura*, muitas vezes cozida, pois a industrialização ainda é incipiente. Por outro lado, em países como o Brasil, o processamento da mandioca ocorre com grande parte da produção, sendo destinada principalmente para fabricação de farinha seca e a extração do amido. [4]

Os resíduos gerados desse processamento, podem ser sólidos, tais como casca ou farelo, ou líquidos, como a

manipueira. A manipueira é a água residual oriunda do processo de prensagem da mandioca para produção de farinha seca, apresentando elevado teor de material orgânico e necessitando assim, de tratamento para que possa ser lançada no ambiente externo sem causar danos. [4]

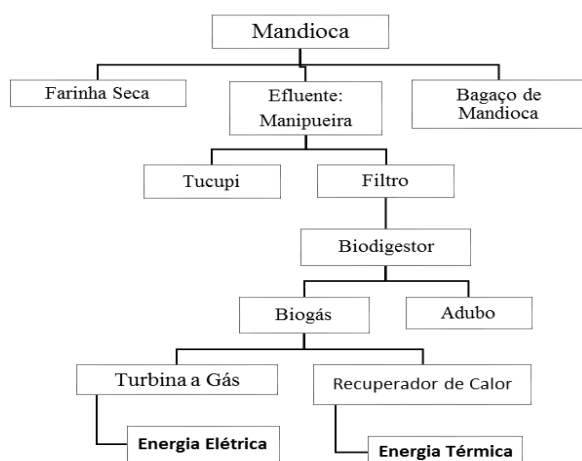
A poluição gerada por esse efluente está diretamente ligada à sua elevada carga de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), que pode ser entendido como a quantidade de oxigênio molecular necessária à estabilização da matéria orgânica carbonada decomposta aerobicamente por meio biológico, e também por apresentar em sua composição uma substância de efeito tóxico, o ácido cianídrico, que acaba por diferenciar esse resíduo dos demais resíduos agroindustriais. [4][3]

Segundo Fioretto [5], a cada 3 quilos de massa ralada e prensada é gerado 1 litro de manipueira e 1 tonelada/dia do resíduo causa uma poluição equivalente a uma população de 230 a 300 habitantes/dia.

Atualmente, a opção mais utilizada para o correto tratamento da manipueira são os sistemas de lagoas, que por apresentam desvantagens como a emissão de gases para a atmosfera, risco de sobrecarga de lagoas e falta de monitoramento do processo, acabam por se tornar inviáveis. [6]

Como solução alternativa para este problema, temos que o tratamento anaeróbico de efluentes agroindustriais tem aumentado nos últimos tempos, apresentando pontos positivos se comparado aos sistemas mais comumente utilizados, tais como o menor consumo de energia, a necessidade de menor área para implantação do sistema e a potencialidade de uso do biogás gerado como biocombustível. [4]

Tendo em vista estas informações, objetivou-se estudar neste presente trabalho, a produção de biogás através da fermentação anaeróbica da Manipueira, utilizando-o como fonte de energia na alimentação de um sistema de cogeração composto por uma microturbina a gás e um recuperador de calor, que tem como finalidade gerar energia elétrica e térmica, como mostrado no esquema a seguir:



**Fig. 1.** Planta de inovação tecnológica para produção de energia elétrica e térmica a partir da biodigestão da manipueira gerada durante o processamento da mandioca.

A cogeração consiste no aproveitamento local do calor residual, originado de processos termodinâmicos de geração de energia elétrica que, de outra forma, seria desperdiçado. Ou seja, é a produção simultânea de energia térmica e energia mecânica a partir de um único combustível. [7]

## II. A CULTURA DA MANDIOCA

A mandioca é uma raiz de origem brasileira, sendo considerada uma das culturas mais difundidas no país. Seu cultivo e utilização são datados desde a época da colonização, quando os primeiros portugueses já encontraram o povo indígena cultivando e utilizando a mandioca no preparo de alimentos e bebidas. [8]

Atualmente, a mandioca é cultivada em diversos países, sendo a maioria deles localizados em uma extensa faixa do globo terrestre que é compreendida entre as latitudes de 30° Norte e 30° Sul. [4]

Vários fatores contribuíram para a disseminação e a propagação da cultura da mandioca, tais como: a facilidade de cultivo, não exigência de solos muito férteis e técnicas sofisticadas de plantio, diversidade genética, grande resistência a pragas, capacidade de regeneração e de adaptação ecológica, reprodução vegetativa, elevada tolerância a períodos de estiagem e possibilidade de cultivo associado a outras culturas. [4][8]

Devido a suas raízes, ricas em amido, e a possibilidade de processamento com fim em diversos subprodutos, a mandioca ganhou grande importância econômica, podendo ser utilizada na fabricação de produtos alimentícios (humano e animal) e para uso industrial. [4]

## III. AGROINDÚSTRIA DA MANDIOCA

A industrialização das raízes de mandioca se tornou uma boa alternativa para se agregar valor a esta cultura, diminuindo as perdas pós-colheita, proporcionando maior retorno financeiro aos produtores e gerando empregos. [8]

Agroindústria é a indústria que beneficia matéria-prima oriunda da agricultura, sendo, portanto, responsável pelo processamento da mandioca com fins industriais. [5]

Como exemplo de produto gerado deste processamento temos a farinha de mandioca, que pode ser encontrada em três tipos: farinha seca, farinha d'água e farinha mista. [4] [8]

A farinha seca, também conhecida como farinha de mesa, é a mais comercializada, e consequentemente, consumida nos dias de hoje, rica em Ferro, Cálcio e Potássio, é considerada o subproduto do processamento da mandioca

mais importante, superando índices de produção e consumo do amido, por exemplo.

A cada 25 milhões de toneladas de mandioca produzidas por ano, cerca de 2 milhões apenas são destinadas para a produção de amido, sendo a maior parte restante, cerca de 60%, destinada para a produção de farinha seca. [4]

#### IV. O PROCESSAMENTO DA MANDIOCA PARA PRODUÇÃO DE FARINHA SECA

O processo de obtenção da farinha seca, se inicia com a correta recepção da mandioca na indústria, seguida pela lavagem e descascamento das raízes, para então iniciar a etapa de ralação. Como resultado deste processo, a mandioca é reduzida a uma massa não muito fina e úmida que é acondicionada em tanques limpos. [8]

Em sequência, temos o processo de prensagem, que pode ser realizado em prensa manual ou hidráulica e tem por objetivo retirar o excesso de água da massa ralada antes da torração, diminuindo a ocorrência de fermentações indesejáveis e economizando tempo e combustível na operação seguinte. [9][10]

Durante este processo, é possível eliminar cerca de 20% a 30% da água da massa, gerando um efluente industrial conhecido como Manipueira. [9][11]

Devido ação da prensa, a massa fica compacta e coesa, necessitando ser esfarelada. A massa esfarelada passa por uma peneira vibratória de malha fina, que retém fibras, pedaços de casca e de raízes de mandioca que escaparam da ação do ralador. O material retido na peneira é conhecido como crueira e normalmente destinado à composição de ração animal. [8][9]

Por fim, temos o processo de torração. Este processo é extremamente delicado e influencia diretamente na qualidade do produto final. Nele, a massa perde umidade até se apresentar convenientemente seca, quando é retirada para um depósito, onde esfria. O teor de umidade final das farinhas deve ser sempre inferior a 14%, para garantir a conservação do produto. [8][11]

Depois de esfriada, a farinha passa por mais um processo de peneiragem, seguido de uma classificação, onde é subdividida de acordo com o tamanho do seu grão. Estando pronta, enfim, para ser embalada e comercializada. [10]

#### V. MANIPUEIRA

A manipueira é uma água de cor amarelada ou branca sendo composta pela mistura do suco celular com águas de lavagem das raízes da mandioca, que é gerada no momento da prensagem da massa ralada para a confecção da farinha seca, podendo representar cerca de 50% ou mais do peso da matéria-prima processada. [4] [13]

Em alguns estados da região Norte e Nordeste brasileira, a manipueira é utilizada na fabricação de temperos, como o Tucupi, que junto com a mandioca fazem parte da culinária tradicional destas localidades.

Segundo Damasceno [14], a manipueira se caracteriza por sua carga orgânica e presença de cianeto (CN), resultante da hidrólise de glicocídeos cianogênicos presentes na mandioca, que durante o processamento são carregados para o líquido residuário.

Sua composição pode variar, dependendo de condições do meio de cultivo, tais como clima, temperatura, umidade do ar, tipo de solo e precipitação pluvial, e também de acordo com o tipo de processamento utilizado. [15][16] Porém, de forma geral podemos dizer que a composição química da manipueira é descrita na tabela a seguir:

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO DA MANIPUEIRA.

Componentes	Manipueira
Nitrogênio	3,42
Fósforo	0,70
Potássio	3,09
Cálcio	0,19
Magnésio	0,60
Sódio	0,46
Cianeto Livre	0,0425
DBO	14-34
Ph	4-5

\*Valores em kg/m<sup>3</sup>

Fonte: [12] Ponte, J. Júlio, [17] Ferreira, Waldemar de A., [18] de Souza, Diniz Mauto.

Segundo Barana [19], a manipueira apresenta um potencial poluidor 25 vezes maior que o esgoto doméstico.

#### A. Processos de tratamento da Manipueira

As lagoas de estabilização aeróbica são hoje o principal processo de tratamento da manipueira gerada nas casas de farinha, chegando a índices superiores a 95%. [20][21]

Durante este processo, a manipueira permanece depositada em tanques, chamados lagoas, a fim de ser tratada por agentes naturais, tais como foto-decomposição, precipitação e atividade microbiana local, sem haver qualquer tratamento adicional no sentido de otimização para aproveitamento deste efluente como subproduto. Os resíduos tendem a alcançar lençóis freáticos, contaminando aquíferos e ainda produzindo odor desagradável e problemas com insetos e vetores. [22][23]

Por ser uma solução de elevado custo e nenhum ganho financeiro, o tratamento da manipueira não se torna viável para as pequenas e médias empresas de processamento da mandioca, que acabam por lançar este efluente diretamente no ambiente. Este despejo indevido no solo e no curso dos rios, caracteriza a manipueira como o resíduo que mais causa agressão nas regiões próxima as fábricas de farinha. [4][24]

Aliado a estes fatos, temos que o tratamento de efluentes industriais a partir da digestão anaeróbica tem aumentado nos últimos anos, se mostrando uma alternativa segura e viável economicamente. [4][11]

## VI. DIGESTÃO ANAERÓBICA

A digestão anaeróbica é um processo fermentativo a qual são submetidos diversos tipos de resíduos, sejam eles urbanos, rurais ou industriais, com a finalidade de realizar a remoção de matéria orgânica poluente e dos microrganismos patogênicos presentes. [25]

Comparado com o método convencional de tratamento aeróbico e do ponto de vista da implementação de tecnologias sustentáveis, o processo anaeróbico resolve o problema dos efluentes de uma maneira mais abrangente, pois requer pouco espaço para a sua implementação e apresenta menores custos para maiores cargas volumétricas de efluentes tratados. Além de produzir energia útil na forma de biogás e biofertilizantes estáveis, mais ricos em nutrientes assimiláveis e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original. [25-27]

### A. Processo de digestão anaeróbica

O processo de digestão anaeróbica ocorre de maneira natural e sem a presença de oxigênio, podendo ser dividido basicamente em duas etapas: acidogênese e metanogênese. [4][27]

Inicialmente, a matéria orgânica complexa é transformada em compostos simples, pela ação de enzimas extracelulares, das bactérias acidogênicas que transformam os demais ácidos voláteis em ácidos acéticos. Depois disso, os produtos resultantes das etapas anteriores são transformados, principalmente, em  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  pela ação de bactérias metanogênicas. [25][28]

Segundo Arieta e Cantera [29], a matéria orgânica presente na manipueira é transformada, durante um processo de digestão anaeróbica, cerca de 70 a 80% em biogás, 20 a 25% em material orgânico que continua em dissolução, transformando-se, posteriormente, em adubo e entre 1 a 5% em novos microorganismos.

### B. Biodigestor anaeróbico

Biodigestores cosistem basicamente, de uma câmara de formato variado onde se processa a fermentação anaeróbica da matéria orgânica, de uma redoma, ou campânula, para armazenamento do biogás produzido e de uma saída para o material digerido. Sua principal função é a manutenção das propriedades fermentativas da biomassa bacteriana. [4] [30]

Os biodigestores anaeróbicos podem ser de fase única ou fase dupla, contínuos ou de batelada, se adequando a sua aplicação e uso. Segundo Santos [31], o biodigestor correto para o aproveitamento do biogás gerado a partir da manipueira é o de fase dupla.

## VII. BIOGÁS

Segundo Lamo [32], biogás é definido como uma mistura de gases obtida em biodigestores anaeróbicos, que resultam da conversão da biomassa em energia secundária, pelo processo de biodigestão anaeróbica de resíduos agroindustriais e domésticos.

A proporção de cada gás na mistura depende de vários parâmetros, como o tipo de digestor e o substrato. De qualquer forma, esta mistura é essencialmente constituída por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), embora apresente traços de nitrogênio (N), hidrogênio (H) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). [4][33-35]

Seu poder calorífico está diretamente relacionado com a quantidade de metano existente em sua composição, atingindo em média uma correspondência de  $6 \text{ kWh/m}^3$ , o que equivale a meio litro de óleo diesel. [34]

Na tabela 3 são apresentadas outras equivalências entre o biogás produzido a partir da manipueira e combustíveis energéticos utilizados mais comumente.

TABELA 3 – EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE O BIOGÁS PRODUZIDO A PARTIR DA MANIPUEIRA E OUTROS COMBUSTÍVEIS.

Combustível	Equivalência com o Biogás
Gasolina	$0,8 \text{ L/m}^3$
Óleo diesel	$0,7 \text{ L/m}^3$
Alcool	$1,3 \text{ L/m}^3$
Madeira	$2,7 \text{ kg/m}^3$
Carvão mineral	$1,4 \text{ kg/m}^3$

Fonte: Inoua, Keles [4]; Santos, Armínio [31].

### A. Tecnologias de conversão do biogás

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica pode ativar um gerador para converter em energia elétrica. [33]

As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo “Ciclo Otto” são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética. Embora os motores, de modo geral, possuam maior eficiência de conversão elétrica, as turbinas a gás podem apresentar um aumento de sua eficiência global de conversão, quando operadas em sistemas de cogeração. [33][36]

## VIII. COGERAÇÃO

A cogeração pode ser definida como um arranjo inteligente do processo de conversão de um combustível em energia mecânica que, através de processos de aproveitamento do calor residual eleva a eficiência global do beneficiamento dos combustíveis, gerando não uma, mas duas formas de energia. As formas de energia mais produzidas por sistemas de



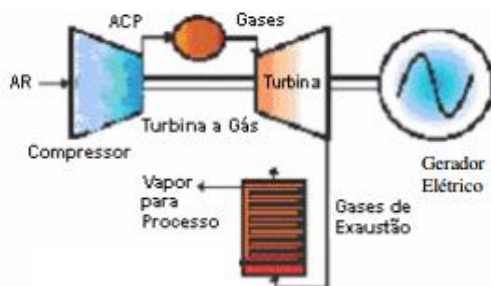
cogeração são a energia térmica e a energia mecânica, sendo esta habitualmente convertida em energia elétrica através de um gerador ou alternador. [37]

A produção combinada de calor e de eletricidade é utilizada em diversas unidades industriais a nível mundial, nos mais variados setores e em diversas atividades, sendo necessário apenas encontrar uma aplicação útil para o calor gerado. [33][37]

A implementação de processos de cogeração passou a ser estimulada através da produção de legislação e regulamentação, da criação de incentivos económicos e de apoio financeiro à investigação sobre este assunto em diversas partes do mundo, principalmente na União Europeia. [34][37]

Segundo a Educogen - Associação Europeia para promoção da cogeração [38], o aproveitamento útil da energia primária gerada através do biogás é de cerca de 85%, sendo 30% de energia elétrica e 55% de energia térmica, registrando-se cerca de 15% de perdas ou de ineficiência do processo. Mostrando assim que, a eficiência média de um sistema de cogeração é superior às eficiências associadas à produção de energia elétrica numa central (36%) e à produção de calor numa caldeira (80%), que juntas atingem um valor médio de apenas 58%.

A planta estudada neste presente trabalho pretende gerar energia elétrica e térmica a partir de um processo de cogeração, utilizando uma microturbina a gás acoplada a um gerador e um recuperador de calor, como exemplificado na figura a seguir:



**Fig. 2.** Sistema de cogeração, ciclo Brayton.  
Fonte: Pecora, Vanessa [39]

#### A. Microturbina a gás

As microturbinas a gás são pequenas turbinas de combustão que operam na faixa de 20 a 250 kW, com elevadas velocidades de rotação e com diversos tipos de combustíveis, como o gás natural, biogás e o GLP (gás liquefeito de petróleo) por exemplo. [39]

Seu funcionamento inicia quando o ar é aspirado e forçado para o interior da turbina a alta velocidade e pressão, sendo misturado ao combustível e queimado na câmara de

combustão. Este processo de queima é controlado para se obter a máxima eficiência e baixos níveis de emissão. Os gases produzidos na queima sofrem expansão nas palhetas da turbina, produzindo trabalho. O trabalho produzido origina uma potência mecânica, que é usada para acionar o gerador, fornecendo eletricidade. [37-39]

A energia elétrica gerada neste processo pode ser utilizada pelo próprio sistema, diminuindo o consumo de eletricidade e otimizando o uso dos recursos naturais, visto que em alguns países como o Brasil, a matriz energética é altamente dependente de recursos hídricos, por exemplo. [39]

Vale citar também que, dependendo do volume de biogás gerado, a energia elétrica produzida pode levar a autossuficiência e ainda, gerar excedentes que podem ser comercializados, permitindo um alto retorno financeiro perante o investimento. [39]

#### B. Recuperador de Calor

Com o objetivo de aumentar o rendimento global da turbina, é usual integrar no sistema um recuperador de calor, que permite aproveitar o calor disponível nos gases de escape da saída da turbina para gerar energia térmica. [37] [39]

A energia térmica gerada pode ser aproveitada durante o próprio processo industrial, sendo aplicada a fase de torração durante o processamento da mandioca para fabricação de farinha seca, economizando assim matéria-prima (lenha, no caso de pequenas e médias empresas e carvão mineral nas grandes empresas) e a energia que seria disposta para o processo.

### IX. CONCLUSÃO

Como principal conclusão, observa-se que as tecnologias de digestão anaeróbica e de aproveitamento do biogás se mostram eficazes no tratamento e valorização da manipieira, diminuindo impacto ambiental causado pelo descarte indevido deste efluente e possibilitando ainda a produção de energia elétrica e térmica.

A produção de energia a partir deste efluente gera ganhos não só ambientais, como económicos para a indústria que pode aproveitar a energia elétrica e térmica durante o seu processo. Tem-se também que há necessidade de estudos posteriores para quantificar a redução do consumo de eletricidade, verificando se há a viabilidade de tornar o processo autossustentável.

Segundo a tecnologia de cogeração, nota-se que a mesma se mostra energeticamente eficiente, além de ser uma opção de geração descentralizada de energia para os setores industrial e comercial.

Assim, espera-se que no futuro, efluentes industriais com alto potencial energético como o estudado, ao invés de serem tratados ou descartados, desempenhem um papel relevante na produção de energia mundial, visando cada vez mais a sustentabilidade.

Como sugestão, indica-se que o presente trabalho seja um incentivo para implementação desta tecnologia, integrando o uso sustentável dos recursos naturais renováveis com o uso racional e eficiente de energia.

## REFERÊNCIAS

- [1] EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, “EMBRAPA: Mandioca e fruticultura”, Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.
- [2] Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação – FAO, “A mandioca tem um grande potencial para ser a cultura do século XXI”. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/mtgpcXXI.asp>>. Acesso em: 3 de fevereiro de 2017.
- [3] SEAB – Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, DERAL – Departamento de Economia Rural, “Análise da conjuntura agropecuária: Mandioca - safra 2015/16”, Disponível em <<http://www.agricultura.pr.gov.br/>>. Acesso em: 5 de abril de 2017.
- [4] Inoue, Keles R. A., “Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na biodigestão da manipueira”, 2008, 92 f. Tese: (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2008.
- [5] Fioretto, R. A., “Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca”. São Paulo, Fundação Cargill, V. 4, 320 f. cap. 4, 2001.
- [6] Kuczman, Osvaldo. “Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase”. Revista Raízes e Amidos Tropicais, v. 3, n. 1, p. 609-613, 2007.
- [7] Coldebella, Anderson. “Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite”. In: 6. Encontro de Energia no Meio Rural, 2006.
- [8] EMBRAPA, “Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: processamento da mandioca”. 1ed, SEBRAE, Brasília, Brasil, pp 14-38, 2013.
- [9] Bezerra, Valéria Saldanha, “Farinha de Mandioca Seca e Mista”, 1 ed, EMBRAPA, Brasília, Brasil, pp 13-50, 2006.
- [10] Cereda M. P. “Caracterização dos substratos da Industrialização da mandioca”. Série cultura de tuberosa amiláceas Latino Americana, Vol.4, São Paulo, Brasil, Fundação Gargil, Cap. 1, pp.15-37, 2003.
- [11] Santos, Milane B.; Miranda, Renato M. B.; Paula, Luiz Guilherme A.; Toledo, Aristides R. C. e Cezar, Vicente R. S., “Avaliação da produção de biogás e redução de DBO5 através do tratamento de manipueira em reator UASB.”, 8 f. In: CONNEPI – Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação, Algoas, Brasil, 2010.
- [12] Da Ponte, José Júlio. “Cartilha da manipueira: uso do composto como insumo agrícola”. Banco do Nordeste do Brasil, 3 ed., pp 1-66, 2006.
- [13] SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequenas Empresas, “Como usar corretamente a Manipueira?”, 2014. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/>>. Acesso em: 8 de março de 2017.
- [14] Damasceno, S., Cereda, M. P. e Pastore, G. M., “Desenvolvimento de *Geotrichum fragrans* na manipueira.”, Energia na Agricultura, Botucatu, Brasil, v. 14, n. 2, pp 7-14, 1999.
- [15] Wosiacki, G. e Cereda, M. P., “Valorização dos resíduos do processamento da mandioca.” Ciências Exatas da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, v. 1, Cap. 1, pp 27-43, 2002.
- [16] Barana, A. C., “Avaliação do tratamento da manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica.”, 2000, 95f. Tese (Doutorado em Energias da Agricultura): Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Brasil, 2000.
- [17] Ferreira, Waldemar de A.; Botelho, Sônia Maria; Cardoso, Eloiza Maria R. e Poltronieri, Marli C., “Manipueira: um adubo orgânico potencial.”, EMBRAPA, Belém, Brasil, 1 ed, pp 10-15, 2002.
- [18] de Souza Diniz, Mauto; Farias, M. A. A.; Trindade, A. V. e da Silva Ledo, C. A. “Efeito da manipueira na adubação da mandioca.” Revista Raízes e Amidos Tropicais, pp 416-421, 2009.
- [19] Barana, A. C., “Despoluição da manipueira e uso em fertilização do solo.” In: I Simpósio Nacional sobre a Manipueira. Vitória da Conquista-Bahia, Brasil, 2008.
- [20] Alves, E. R. de A. e Vedovoto, G. L. “A indústria do amido de mandioca.” Embrapa, Brasília, Brasil, 2003.
- [21] Campos, A. T.; Daga, J. U.; Rodrigues, E. E. U.; Franzener, G. U.; Suguiy, M. M. e Syperreck, V. L. “Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização.”, 2006.
- [22] Magalhães, A. G. “Desenvolvimento e produção do milho e alterações químicas em diferentes solos com aplicação de manipueira.”, 2013, 102 f, Tese: (Pós-graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, 2013.
- [23] Camili, Eloneida Aparecida. “Tratamento da manipueira por processo de flotação sem uso de agentes químicos.” 2007. 78 f. Tese: (Mestrado em Ciências Agrônômicas) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.
- [24] Botelho, Sônia Maria; Poltronieri, Marli Costa e Rodrigues, João Elias Lopes Fernandes. “Manipueira: um adubo orgânico para a agricultura familiar.” Revista Raízes e Amidos Tropicais, pp 1111-1116, 2009.
- [25] de Souza, Marcos Eduardo. “Fatores que influenciam a digestão anaeróbia.” Revista DAE, São Paulo, Brasil, pp 88-94, 1984.
- [26] Berni, Mauro Donizeti e Bajay, Sergio Valdir. “Geração de energia e a digestão anaeróbica no tratamento de efluentes: estudo-de-caso na indústria de papel”. In: 3. Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, São Paulo, Brasil, 2000.
- [27] Nogueira, N. A. H., “Biodigestão, a alternativa energética.”, Nobel, São Paulo, Brasil, pp 93, 1992.
- [28] Chernicharo, C. A. L., “Reatores anaeróbicos: princípios de tratamento biológico de águas residuárias”, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFGM), Belo Horizonte, Brasil, 246f, 1997.
- [29] Arrieta, J.; Cantera, E., “Recuperación biológica y reaprovechamiento de aguas de proceso”, El Papel, n. 79, pp.56-61, 1999.
- [30] Granato, Eder Fonzar. “Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça.” 124 f, 2003.
- [31] Santos, Armínio. “Usos e impactos ambientais causados pela manipueira na microregião sudoeste da Bahia-Brasil.” In: Problemas sociales y regionales em América Latina: estudio de casos. Barcelona: Universitat de Barcelona, pp 11-25, 2005.
- [32] Lamo, Paulo. “Sistema produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais”, METHAX/BIOPAQ – CODISTIL, Piracicaba, Brasil, 1991.
- [33] Coelho, S. T.; Velázquez, S. M. S. G.; Martins, O. S. e Abreu, F. C. D. “A conversão da fonte renovável biogás em energia.”, 2006, In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasil, 2006.
- [34] Granato, Eder Fonzar. “Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça.”, 124 f, 2003.
- [35] Barbosa, George e Langer, Marcelo. “Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental.” Unesco e Ciência-ACSA, pp 87-96, 2011.
- [36] Costal, D. F. “Produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos.” Monografia apresentada à disciplina de conclusão de curso para obtenção da graduação em Engenharia Química da Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP), 2001.
- [37] Monte, M. M. D. “Contributo para o estudo da valorização energética de biogás em estações de tratamento de águas residuais”. Tese (Mestrado em Engenharia Sanitária) Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.
- [38] Educogen - The European Association for the Promotion of Cogeneration, “A guide to cogeneration”, 2001.
- [39] Pecora, Vanessa. “Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP–Estudo de Caso.” São Paulo, 153 f, 2006.

# Análise das condições de saúde e segurança do trabalho de uma empresa de mineração localizada no centro-oeste mineiro

Carlos Roberto de Sousa Costa

Instituto Federal Minas Gerais - Campus Bambuí  
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - km 05  
Caixa Postal 05 - Bambuí - MG - CEP: 38900-000  
carlos.sousa@ifmg.edu.br

Rafaella Cristina da Silveira

Instituto Federal Minas Gerais - Campus Bambuí  
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - km 05  
Caixa Postal 05 - Bambuí - MG - CEP: 38900-000  
rafaellacs1@outlook.com

Rayra Brunelle Nunes Souza

Instituto Federal Minas Gerais - Campus Bambuí  
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - km 05  
Caixa Postal 05 - Bambuí - MG - CEP: 38900-000  
rayrabrunelle13@hotmail.com

Thamara Lorrayne Ferreira Faria

Instituto Federal Minas Gerais - Campus Bambuí  
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - km 05  
Caixa Postal 05 - Bambuí - MG - CEP: 38900-000  
thamara.faria@hotmail.com

**Resumo**— O presente trabalho foi realizado em uma empresa localizada na região centro-oeste de Minas Gerais, a qual realiza extração de argila e calcário em uma mineração a céu aberto, além de atuar no segmento de produção do cimento. O artigo tem como principal objetivo verificar as condições de segurança e saúde dos trabalhadores que atuam na extração do minério, apoiando-se na NR-22. Além disso, foram analisadas o cumprimento de outras NR's na empresa em questão. Para o desenvolvimento do trabalho, foram coletados dados através de entrevistas e observações, além de ter sido disponibilizado o histórico de acidentes já ocorridos na empresa. Posteriormente, as informações obtidas foram analisadas, o que proporcionou estabelecer uma relação das normas regulamentadoras que são respeitadas pela empresa. Por fim, foi possível verificar a importância da saúde e segurança no trabalho, além de confirmar a relevância das normas regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego dentro de uma organização.

**Termos de Índice** — segurança do trabalho, normas regulamentadoras, mineração a céu aberto.

## I. INTRODUÇÃO

A mineração é uma das principais atividades econômicas do país, é um setor que exerce profunda importância para o desenvolvimento econômico e industrial do Brasil. Com a transformação produtiva de recursos naturais, a mineração gera novos potenciais nas áreas de serviços e fabricação, além de oferecer muitas oportunidades de emprego. O Brasil possui uma grande diversidade de minérios, são mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados de formações geológicas, portanto apresenta-se ativamente participativo e competitivo nas exportações, o que possibilitou que o PIB em 2013, alcançasse 5% do percentual nacional (IBGE, 2014).

Além do mais, pode-se perceber facilmente a importância da mineração na vida moderna. Levando em conta o papel

fundamental dos minerais no cotidiano e a riqueza que geram para as comunidades onde atuam, as empresas mineradoras devem realizar suas atividades de forma planejada e obedecendo a fiscalização de suas instalações. É necessário se preocupar com a preservação do meio ambiente, trabalhando de forma sustentável, a fim de garantir a existência dos minerais para as atuais e futuras gerações.

Entretanto, desde os tempos mais antigos a mineração oferece riscos à saúde e segurança do trabalhador. Com o passar do tempo e a necessidade de prevenir as pessoas dos riscos causados no ambiente de trabalho, foram desenvolvidas legislações de saúde e segurança ocupacional, as quais garantem por lei tornar a atividade mineral brasileira a mais segura possível.

As legislações são conhecidas como Normas Regulamentadoras (NR's), é um conjunto embasado em orientações e procedimentos técnicos, de cumprimento obrigatório das empresas públicas e privadas, relacionado à segurança e medicina do trabalho. Em geral, cada NR possui um tema específico, porém elas possuem um único objetivo que consiste em promover e garantir a saúde, segurança e bem-estar de todos os funcionários das empresas, além de estabelecer procedimentos de prevenção de acidentes.

Araújo (2002), citado por Murta (2006), relata serem ainda elevados os índices de acidentes de trabalho no Brasil, o que leva ao questionamento sobre a real eficiência dos programas para a gestão da saúde e segurança aplicados nas empresas e/ou carência de adequações para a correta abordagem dos temas mencionados.

Ainda segundo Murta (2006), dada a importância da atividade de extração de minério na promoção do desenvolvimento do país, é preciso ressaltar a necessidade da execução de atividades seguras e que não representem riscos à saúde do indivíduo, o que torna a avaliação dos programas e técnicas de segurança e saúde ocupacional, ação fundamental para se alcançar melhorias nas condições de trabalho dos empregados do referido setor.

Dessa forma, o setor de mineração carece de uma maior atenção e análise intensa a fim de minimizar os riscos de

acidentes no trabalho. A NR-22 trata-se especificamente deste setor e tem como objetivo zelar pela saúde e segurança do trabalhador, por isso é de suma importância averiguar seus itens nas empresas de mineração, onde o risco de acidentes esta cada vez mais crescente.

## II. OBJETIVOS

### A. Objetivo Geral

Verificar através das Normas Regulamentadoras, em especial a NR – 22, as condições de segurança e saúde ocupacionais no trabalho de extração de minério de calcário e argila, em uma empresa do setor de mineração situada no centro-oeste do estado de Minas Gerais.

### B. Objetivos específicos

- Analisar os principais programas adotados em relação à saúde e segurança do trabalho nas minas de extração de calcário e argila da empresa;
- Verificar se a empresa obedece as Normas Regulamentadoras nas quais a mesma se adequa.

## III. REFERENCIAL TEÓRICO

### A. O calcário e a argila

Segundo Oliveira (2005) os calcários (do latim "calx-cis", "cal") são rochas sedimentares que contêm minerais com quantidades acima de 30% de carbonato de cálcio (aragonita ou calcita). Quando o mineral predominante é a dolomita ( $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$  ou  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) a rocha calcária é denominada calcário dolomítico ou agrícola. O calcário é o nome comercial do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

No Brasil, o calcário é empregado, principalmente, como corretivo da acidez do solo. Segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), a produção interna de calcário, em 2013, ficou assim distribuída entre as regiões: Centro-Oeste, maior produtora, com 38,2%; seguida do Sul, com 26,6%; Sudeste, com 23,0%; Norte com 7,7%; e o Nordeste, com 4,5%. Em 2013, os principais estados produtores, responsáveis por cerca de 85% da produção nacional, foram: Mato Grosso, com 19,6%, Paraná, 15,0%, Minas Gerais, 13,9%, Goiás, 11,6%, Rio Grande do Sul, 9,7%, São Paulo, 8,2% e Tocantins, 7,2% (JÚNIOR *et al.*, 2013).

De acordo com Geremias (2007), a argila origina-se de alterações em rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, sendo estas alterações causadas pela ação química da água, gases de enxofre e intemperismo. Andrade (2009), citado por Abel (2009), afirma que em sua composição predominam os filossilicatos de alumínio hidratados, às vezes substituídos por magnésio ou ferro, contendo também outros tipos de minerais em menor quantidade como o titânio, cobre, zinco, alumínio, cálcio, potássio, níquel, manganês lítio e sódio.

Atualmente, entre as inúmeras aplicações da argila, destaca-se a fabricação de revestimentos cerâmicos, louças, utensílios domésticos e decorativos, além de ser aplicada em tratamentos estéticos e de saúde. O Brasil participa de forma significativa no mercado mundial de revestimentos, correspondendo ao segundo maior produtor e consumidor global de placas cerâmicas, sendo ultrapassado apenas pelo imenso mercado

chinês (JÚNIOR *et al.*, 2013).

### B. Trabalho e operação de mina

Segundo Macêdo (2001), comumente o método de lavra é designado como sendo a técnica de extração do material. Isso define a importância de sua seleção, já que todo o projeto é elaborado em torno da técnica utilizada para lavrar o depósito. Ainda, de acordo com o mesmo autor, o método de lavra é um dos principais elementos em qualquer análise econômica de uma mina, e a escolha do método permite o desenvolvimento da operação. Em uma etapa de maior detalhe, pode constituir-se como fator preponderante para uma resposta positiva ao projeto, uma vez que, a seleção imprópria tem efeitos negativos na viabilidade da mina.

A seleção do método de lavra a ser usado por uma empresa mineradora é uma das principais questões a serem analisadas para o início do empreendimento. A análise deve envolver aspectos ambientais, econômicos, sociais, e, também, tecnológico, afinal, a escolha bem-feita desses aspectos implicará no êxito do projeto. Para selecionar o método adequado, devem-se avaliar, primeiramente, as condições geológicas, sociais e ambientais, considerando os riscos que o desenvolvimento da operação causará ao meio ambiente e eliminando partículas indesejadas que se encontram no espaço. Posteriormente, define-se o método levando em consideração a máxima segurança, através das condições técnicas (MACÊDO, 2001).

Um empreendimento de mineração a céu aberto, no geral, funciona de maneira diferente da maioria das outras obras de engenharia geotécnica. Neste caso, não há inserção de um elemento permanente no maciço, como ocorre na construção de uma barragem, e sim, o desmonte contínuo do mesmo. Porém, em ambas as obras, o monitoramento do desempenho dos elementos envolvidos, através de instrumentação, é constante (DAMASCENO, 2008).

Os métodos usados em minas a céu aberto, podem ser divididos em três principais: bancadas, tiras e pedreiras. As bancadas correspondem ao método de extração, que é executado através de camadas horizontais formadas perto da superfície e podem ocorrer tanto em encosta quanto em cava. Já o método de tiras é usado na produção em larga escala, pois oferece uma alta produtividade por um custo reduzido, além de reduzir os impactos ambientais. Por último, as pedreiras referem-se ao método usado para extrair minérios usados na produção de materiais de construção. Exemplo disso é a extração de calcário, principal matéria-prima do cimento.

### C. Saúde, segurança e acidentes de trabalho

Segurança do trabalho é o conjunto de medidas técnicas, educacionais, médicas e psicológicas, empregadas para prevenir acidentes, quer eliminando as condições inseguras do ambiente, quer instruindo ou convencendo as pessoas da implantação de práticas preventivas (CHIAVENATO, 2002).

De acordo com Marras (2004), a segurança do trabalho tem duas funções como preocupações fundamentais: "a prevenção de acidentes no trabalho e a eliminação de causas desses acidentes no trabalho". É indispensável também que a empresa

tenha como principal preocupação, a saúde e o bem-estar de seus trabalhadores, visto que, esses são fatores de extrema importância para a prevenção de acidente e em consequência uma certificação da segurança que se busca.

Considera-se como acidente de trabalho a doença profissional decorrente da exposição a agentes físicos, químicos e biológicos e a doença do trabalho resultante de condições especiais de trabalho (MENDES, 1995). A maioria dos acidentes de trabalho é resultante da falta de informações fornecida pela empresa, além da falta de treinamento em manusear os equipamentos. As empresas devem ter como principal conduta, prevenir ou eliminar as possibilidades de ocorrências de acidentes, pois um acidente causado no trabalho, causa grandes transtornos familiares e prejudica a imagem da empresa em vários aspectos.

No Brasil, é possível observar ainda a falta de consciência e desenvoltura das empresas quanto à implementação dos programas de segurança e saúde no trabalho. É fácil perceber que empresas de pequeno porte não se adequam as leis, pois não possuem um acompanhamento das autoridades. Porém, nas empresas maiores é de grande importância e fácil perceber a preocupação dos líderes em relação à saúde e segurança dos colaboradores e de si próprio, visando o melhor aproveitamento do tempo para obter uma grande lucratividade, com funcionários satisfeitos e saudáveis no seu ambiente de trabalho.

Para Webster (2005), “a segurança do trabalho, mais recentemente, também tem sido vista como fator de produção [...]”. A falta da segurança e saúde do trabalho pode causar alguns malefícios na produção, como o atraso na produção devido a acidentes ocorridos. A falta de comprometimento, caso o trabalhador não esteja em perfeitas condições de saúde e bem-estar.

É papel da empresa e de seus líderes garantirem que seus funcionários tenham um ambiente de trabalho salubre, livre de problemas que possa influenciar no seu bem-estar e que possam executar seu trabalho adequadamente. Visto que funcionário saudável, engajado e motivado, é sinal de alta produtividade e a empresa passa a dedicar atenção especial aos cuidados do mesmo.

#### *D. Normas regulamentadoras*

Normalização é definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a atividade que estabelece prescrições destinadas à utilização comum e repetitiva com vista à obtenção do grau ótimo em um dado momento (COLENGHI, 2003).

As Normas Regulamentadoras-NR trabalham ligadas à Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Em 1978, por meio da Portaria 3.214 de 8 de junho foram instituídas as Normas Regulamentadoras e assim, aprovadas as 28 NR's. O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), ainda desenvolveu, junto a empregadores e empregados, mais oito normas, além da adequação das outras normas já criadas de acordo com a carência que o trabalho desenvolveu.

As 36 NR's então tem grande relevância para empregados e empregadores, sendo de observância obrigatória, as empresas

que possuam empregados regidos pela CLT. Ela tem como finalidade “a promoção e preservação da saúde dos seus trabalhadores” (NR-7, 2013). O não cumprimento das disposições legais e regulamentares sobre segurança e saúde no trabalho, acarretará ao empregador a aplicação das penalidades previstas na legislação pertinente (MTE, 2015).

Na empresa mineradora em questão, como também nas outras que atuam nesse mesmo segmento, algumas NR's devem ter atenção especial e serem cumpridas, obrigatoriamente, a partir do momento que possuir funcionário regido de acordo com a CLT.

A NR-7 se resume no controle médico de saúde ocupacional fornecido pela empresa, esta estabelece obrigatoriedade em exames médicos em geral, além de exames complementares, os quais serão obrigatórios de acordo com o nível de risco da empresa.

A NR-11 trata-se de medidas de prevenção na realização de operações com elevadores, guindastes, transportadores industriais e máquinas transportadoras, a mesma tem o objetivo de garantir segurança para todos envolvidos na atividade.

Além dessas NR's, em uma empresa mineradora é de extrema importância considerar a NR-33 e a NR-35, as quais se enquadram no aspecto de condições do ambiente e do trabalho. A primeira, respectivamente, tem como objetivo assegurar a saúde e segurança das pessoas que trabalham em espaço confinado, o qual pode ser caracterizado como lugares com insuficiência de oxigênio, que tenha meios limitados de entrada e saída, com pouca ventilação, etc. Por fim, a NR-35 garante medidas de caráter protetivo aos funcionários que trabalhem em alturas significativas, ou que estejam envolvidos indiretamente na atividade.

A empresa deve promover treinamentos dos funcionários, além de montar um planejamento adequado para esse ramo, a fim de garantir a segurança e saúde das pessoas envolvidas.

#### IV. MATERIAIS E MÉTODOS APLICADOS

A pesquisa realizada pelo presente trabalho foi do tipo descritivo, que de acordo com Gil (2008) busca descrever as características de determinadas populações ou fenômenos. Uma de suas peculiaridades está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como a entrevista e a observação sistemática.

Os dados foram coletados em uma empresa de materiais de construção na cidade de Arcos, localizada a 20°17'29"S e 45°32'23"W, estado de Minas Gerais. As principais atividades desenvolvidas na empresa envolvem a produção de cimento e a extração de calcário e argila.

Através de uma entrevista, realizada em novembro de 2016, foram constatados os principais procedimentos atuais relacionados à segurança e à saúde no trabalho, com enfoque no trabalho de extração de calcário e argila. Além disso, incluído na entrevista, foram coletados dados a respeito de acidentes de trabalho ocorridos na empresa, desde o início de suas atividades de mineração. Por fim, para a coleta dos dados sobre as condições de trabalho da mina foram levados em consideração os seguintes fatores: organização dos locais de

trabalho, uso de equipamentos na execução das atividades, jornada de trabalho e implementação de programas de saúde e segurança.

Anteriormente, aprofundaram-se conhecimentos nas NR's, a fim de compreender o que seria avaliado e analisado. O presente trabalho compõe-se dos estudos de algumas NR's, como: NR-7, NR-11, NR-33, NR-22, NR-35, entre outras.

## V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### A. Caracterização da empresa

A unidade da empresa avaliada conta com 123 funcionários diretos e 32 funcionários terceirizados. As operações de extração de calcário e argila iniciaram-se em maio de 2015, considera-se que a unidade está a pouco tempo em atividade. Ela pertence à uma empresa estrangeira, sendo esta considerada uma das principais empresas de materiais de construção do mundo, com sede na Irlanda.

A empresa trabalha com grau de risco 4, segundo a NR-4. O seu departamento de segurança do trabalho não é terceirizado e conta com auditorias de segurança para realização das inspeções. A jornada de trabalho dos operadores de minas é de 8 horas/dia, havendo rotatividade em decorrência de necessidades.

### B. Histórico de prevenção e ocorrência de acidentes

- outubro/2015: acidente com perda material leve, entre um veículo de pequeno porte e um bob cat (mini-pá- carregadeira), ocorrido perto da mina. A causa do acidente foi a falta de sinalização adequada do veículo de pequeno porte, através da ausência da bandeirola a qual serve de instrumento para uma melhor visibilidade de outros veículos e maquinário da mina;
- junho/2016: prevenção de acidente, realizado através de auditorias de segurança. O colaborador foi demitido por não estar cumprindo um dos itens da NR-6, que diz respeito ao uso obrigatório de Equipamentos de Segurança Individual (EPI).

### C. Programas de saúde e segurança

Tabela 1: Programas de Saúde e Segurança

Programas	Principal Legislação Cumprida
SESMT - Serviços Especializados em Saúde e em Medicina do Trabalho	NR4
CIPAMIN - Comissão Interna de Prevenção de Acidentes na Mineração	NR5/NR22
Manual - Manual de Saúde, Segurança e Higiene	NR4
Plano de Emergência - Ações para situações de emergência priorizadas pela análise da significância de riscos das atividades	NR9/NR22
PCSMO - Programa de controle médico da saúde ocupacional	NR7
PGR - Programa de Gerenciamento de Riscos	NR9/NR22
PPR - Programa de Proteção Respiratória	NR15/NR22
PPA - Programa de Conservação Auditiva	NR6/NR22/NR15
PCRQ - Programa de Comunicação de Riscos Químicos	NR9/NR15/NR22
PRL - Programa de Rendimento de Lucro	-
DDS - Diário Diário de Segurança	-
Campo de Ideias - Programa para incentivo de criação de ideias pelos empregados	NR4
Comitês - Comitê de Segurança, Comitê de Ergonomia	NR4
OTS - Observação do Trabalho Seguro	NR4

Fonte: Os autores, 2016.

Em relação ao cumprimento desses programas, pôde-se constatar que somente o Campo de Ideias não era aplicado pelos departamentos da empresa.

Constatou-se também que, em relação ao PGR, a sua última

reavaliação foi feita em outubro de 2015. Este período é consideravelmente extenso, logo, recomenda-se uma reavaliação imediata.



#### D. Segurança e condições de trabalho dos operadores de mina

Averiguou-se que são realizados treinamentos, qualificações, instruções e reciclagem com os operadores das minas, exigidos de acordo com a necessidade e validade dos mesmos, podendo variar em torno de 2 meses a cada nova intervenção.

Um dos treinamentos feito na empresa analisada tem como objetivo abordar práticas sobre operações e procedimentos de análise e classificação de riscos, associados a atividades que necessitam de acessórios de detonação ou explosivos. Bem como os veículos que transportam estes, e locais onde são armazenados. Este treinamento também visa o uso dos equipamentos de proteção individual e coletiva.

A mineradora conta, ainda, com o treinamento para a capacitação de técnicos da área mineral, envolvendo avaliações de recursos e reservas e planejamento mineiro.

Outro treinamento relatado pela empresa foi referente a condutas em situações de emergência, incluindo noções de técnicas de resgate e de primeiros socorros.

Constatou-se a validade da NR-11 na empresa, através do cumprimento dos requisitos mínimos de segurança para operação de elevadores, guindastes, transportadoras industriais e máquinas transportadoras. Os equipamentos existentes na mineradora, usado para a movimentação de materiais, foram construídos e dispostos de modo que, a garantia de resistência, segurança e conservação foram satisfeitos.

Observou-se a conformidade com a NR-33: os espaços confinados na empresa são devidamente identificados, são disponibilizados equipamentos para o controle de riscos e há o conhecimento por parte dos funcionários sobre práticas seguras neste tipo de espaço.

Em relação a NR-35, as atividades de trabalho em altura na organização são realizadas por profissionais capacitados e sempre com o uso de equipamentos de proteção individual e coletiva necessários, estando eles em bom estado de uso e conservação.

Os trabalhadores possuem o direito de interromper suas tarefas sempre que constatar evidências que representam riscos graves e iminentes à sua segurança e saúde ou de terceiros, estando explícito na NR-32, no item 32.3.1 este direito. Os Equipamentos de Proteção Individual (EPI's) são disponibilizados aos operários e o seu uso é de ordem obrigatória dentro da empresa, destinados – conforme a NR-6 – à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. Além disso, a empresa oferece adicional de insalubridade e periculosidade, atendendo às NR-15/NR-16, em decorrência da atuação e riscos oferecidos pela atividade.

#### E. Organização dos locais de trabalho

Foi possível constatar o cumprimento dos seguintes requisitos estabelecidos pela NR-22: áreas em atividades operacionais com entradas demarcadas e sinalizadas, largura mínima das estradas respeitada, existência de leiras em áreas de risco de quedas de veículos, o transporte de trabalhadores em áreas das minas era realizado em veículo adequado para transporte de pessoas e as instalações sanitárias eram adequadas.

#### VI. CONCLUSÕES

Foi possível identificar através do presente estudo, a importância da saúde e segurança do trabalho, especialmente, no setor de mineração. Além disso, aprimorou-se estudos e conhecimentos sobre este setor.

No decorrer desse artigo, pode-se constatar que a maioria dos programas de saúde e segurança do trabalho são implantados dentro da empresa, considerando que esses programas acarretam em resultados satisfatórios, com baixo índice de acidentes dentro do setor. Por fim, pode-se averiguar que a organização se adequa às exigências das normas regulamentadoras abordadas.

Portanto, torna-se cada vez mais evidente a necessidade das empresas em inserir boas práticas de saúde e segurança do trabalho, pois além de serem primordiais para evitar acidentes e garantir a saúde dos trabalhadores tem como resultado a motivação e o comprometimento de todos os membros envolvidos nas atividades.

#### REFERÊNCIAS

ABEL, Aldori. Caracterização de argilas para uso em saúde e estética. Criciúma, SC. UNESC. 2009. p. 13. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Cerâmica) – Universidade do Extremo Sul Catarinense.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 07 - PROGRAMA DE CONTROLE MÉDICO DE SAÚDE OCUPACIONAL. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2013. Disponível em: < <http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR7.pdf> > Acesso em: 22 de novembro de 2016.

CHIAVENATO, Idelberto. Recursos humanos: edição compacta. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2002. p 438.

COLENGHI, Vitor Mature. O & M e Qualidade Total: Uma Interpretação Perfeita. 2ed. Rio de Janeiro: Quality Mark Editora, 2003.

DAMASCENO, C. S. R. Modelagem Geológica e Geomecânica 3D e Análises de Estabilidade 2D dos Taludes da Mina de Morro da Mina, Conselheiro Lafaiete, MG, Brasil. Rio de Janeiro, 2008. p 156.

GEREMIAS, Márcio Luiz. Caracterização das argilas da bacia do Paraná, no sul de Santa Catarina, para uso na fabricação de pisos cerâmicos. 2003. 225 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/home/> >. Acesso em: 21 nov. 2016.

JÚNIOR, Fábio Lúcio Martins. Calcário Agrícola. In: Economia Mineral no Brasil. DNPM/TO, 2014. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/calcario-agricola-sumario-mineral-2014>. Acesso em: 21 nov. 2016.

JUNIOR, Marsis C.; GAMBA, Carlos T. C.; TANNO, Luiz C.; *et al.* Potencial das Reservas de Argila para Suprimento do Polo Cerâmico de Santa Gertrudes – SP: Onde o Recurso Mineral faz Diferença. IPT, São Paulo, p. 13, abr. 2013.

MACÊDO, A. J. B; BAZANTE, A. J.; BONATES, E. J. L. Seleção do Método de Lavra: Arte e Ciência. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v.54, n.3, jul./set 2001.

MARRAS, Jean Pierre. Administração de recursos humanos: do operacional ao estratégico. 9. ed. São Paulo: Futura, 2000. p 208.

MENDES, René. Patologia do Trabalho. Rio de Janeiro: Editora Ateneu, 1995.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). Disponível em: <<https://www.servicos.gov.br/orgao/http-estruturaorganizacional-dados-gov-br-id-unidade-organizacional-2844>>. Acesso em: 22 nov. 2016.

MURTA, Marina Gomes. Avaliação da Segurança e Saúde Ocupacionais no Trabalho em uma Empresa do Setor de Mineração no Estado de Minas Gerais. Viçosa, MG. UFV. p 1. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Viçosa.

NORMAS REGULAMENTADORAS. Disponível em: <<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-rabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>> . Acesso em: 22 de novembro de 2016.

OLIVEIRA, Carlos Tolentino de. Recuperação da área degradada por efluentes industriais. Goiânia, GO. UCG. 2005. p 5.

PEIXOTO, N.H. Curso técnico em automação industrial: segurança do trabalho. 3ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria : Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.

WEBSTER, Marcelo Fontanella. Segurança e higiene do trabalho: conceitos e objetivos. In: VIEIRA, Sebastião Ivone (Coord.). Manual de saúde e segurança no trabalho: segurança, higiene e medicina do trabalho. São Paulo: LTDA, 2005. v. 3. p 40.

# *Numerical analysis of a hyperelastic material under pure shear*

Fernando da Silva Araújo / Rafael Oliveira Santos /  
Alexandre Luiz Pereira  
Departamento de Engenharia Mecânica  
CEFET RJ, *Campus* Angra dos Reis  
Angra dos Reis, Brasil  
fernando.araujo@cefet-rj.br  
rafael.oliveira@cefet-rj.br

Luiz Carlos Silva Nunes  
Departamento de Engenharia Mecânica  
UFF RJ, *Campus* Praia Vermelha  
Niterói, Brasil  
luizcsn@id.uff.br

**Abstract**—The aim of this study is to investigate the mechanical behavior of a hyperelastic polymer under pure shear condition using the finite element method (FEM). Numerical simulation for quasi-static planar test was performed on ABAQUS considering material parameters of hyperelastic strain energy models (Mooney-Rivlin and Ogden) previously fitted on experimental data. The FEM results of displacement and normal stress for Ogden model are compared with experimental data, showing a good agreement.

**Keywords**— *hyperelastic, quasi-static, pure shear, FEM*

## I. INTRODUCTION

Elastomeric materials have been applied to many engineering areas, for instance, in the biomedical industry, with applications in such devices as: Micro pumps, optical systems, microfluidic circuits, mechanical sensors, medical devices, and the study of aneurismal behavior; in automotive parts: tires, engine and transmission mount, center bearing supports, exhaust rubber parts; in oil and gas equipment parts like seal systems, flex joint, bend stiffener, jumpers and so on. Nowadays, the design of these highly technical parts demands the use of simulation tools such as finite element softwares and mechanical properties knowledge. In this context, an appropriate material constitutive model is an essential prerequisite for good numerical predictions [1-6]. Besides, modeling and computational simulation accelerate development, providing valuable information in advance, bringing the product launch earlier and greater return on investment, reducing dependence on trial and error testing, and bringing to market extremely secure and reliable products.

For material characterization, different types of mechanical tests may be performed on rubbers [7]. In order to provide pure shear on a thin sheet of rubber-like material, a planar shear test was carried out by Treloar (1943) [8]. Rivlin and Saunders (1951) [9] developed an experimental and theoretical investigation on pure shear. The characterization of hyperelastic rubber-like materials by means of planar testing has also been performed by Sasso, *et al.*, 2008 [10]. Moreira and Nunes [11] compared simple shear and pure shear considering large deformations by means of experimental and theoretical approaches. Besides, standard ISO 1827[12]

specifies the method for the determination of the shear modulus for rubber.

Due to the wide range of applications of hyperelastic materials with nonlinear mechanical behavior, in which it is not possible to make an approach using the classical theory of linear mechanics, the interest in the characterization of the mechanical properties through experimental methods and computational modeling to describe the particular behavior of these materials is justified. The use of this knowledge and results try to contribute to the continuation of future researches with such materials, once the subject has still few data and references in the literature.

This work aims to investigate the mechanical behavior of a hyperelastic polymer submitted to the pure shear test through a numerical simulation. The material parameters, taking into account experimental data and the most well-known strain energy potential models in the literature for rubber such as Mooney-Rivlin and Ogden, were estimated using Levenberg-Marquardt method, according to a study done by Araújo and Nunes, 2013 [13]. By means of the FEA simulation using these two models, the stress, stretch and displacement fields were obtained. These results were compared with those obtained experimentally for validation.

## II. HYPERELASTIC CONSTITUTIVE MODELS

### A. Strain-energy density function

From the phenomenological point of view, the material is considered as continuous and an energy density function  $\mathbf{W}$  is postulated, which is dependent of the deformation gradient tensor  $\mathbf{F}$ . There are many forms of the energy density function in the literature to describe the mechanical behavior of a hyperelastic material [14].

This work focuses on two well-known models: Mooney-Rivlin (first order) and Ogden (first order) that are implemented in several commercial finite element programs. These models were chosen because they are quite representative in the use of constitutive equations for hyperelastic materials.

The Mooney model is the most used in industrial rubber due to its simplicity and good representation for moderate

deformations [15] and the Ogden model was adopted by the high versatility that allows an adjustment for almost all the experimental data and different type of loads [16-17]. Both models used have two parameters to determine.

Mooney-Rivlin observed that rubber response is linear under simple shear loading conditions. The original first order model is represented by the equation (1)

$$W(I_1, I_2) = C_{10}(I_1 - 3) + C_{01}(I_2 - 3) \quad (1)$$

Where  $I_1$  and  $I_2$  are independent strain invariant of the left Cauchy-Green tensor  $\mathbf{B}$  and parameters  $C_{10}$  and  $C_{01}$  are constants of the material. On the other hand, Ogden model associates the strain-energy with the principal stretches according to Eq. (2). In which  $\mu_n$  and  $a_n$  are constants and may have any value

$$W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{a_n} (\lambda_1^{a_n} + \lambda_2^{a_n} + \lambda_3^{a_n} - 3) \quad (2)$$

### B. Pure shear

Considering the central region of the adhesive from a rectangular thin sheet specimen, as illustrated in Fig. 1. In pure shear, the deformation of a rectangular block whose long sides are along the  $X_2$ -direction is given by

$$x_2 = \lambda_2 X_2, x_1 = X_1, x_3 = \lambda_3 X_3 \quad (3)$$

Assuming that the material is incompressible, i.e.  $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 = 1$ , the principal stretches can be expressed as  $\lambda_2 = \lambda = L/L_0$ ,  $\lambda_1 = 1$  and  $\lambda_3 = \lambda^{-1}$ ,  $\lambda > 1$ . Using Eq. 3, the deformation gradient tensor for pure shear  $\mathbf{F}$  can be expressed as

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\lambda \end{bmatrix} \quad (4)$$

The left Cauchy-Green tensor, which is also known as Green's deformation tensor, is an important strain measure in material coordinates. The deformation tensor  $\mathbf{B}$ , can be written as functions of the deformation gradient tensor

$$\mathbf{B} = \mathbf{F}\mathbf{F}^T = \begin{bmatrix} \lambda^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1/\lambda^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

The principal scalar invariants of the left Cauchy-Green deformation tensor can be given as  $I_1 = \lambda^2 + 1 + 1/\lambda^2$ ,  $I_2 = \lambda^2 + 1 + 1/\lambda^2$  and  $I_3 = 1$  as indicated in reference [13]

### III. SIMULATION

In order to provide pure shear state, a 3D simulation was carried out on a rectangular sheet with dimensions of  $150 \times 70 \times 3.4 \text{ mm}^3$  under tension in its normal plane to the clamped edges. A thin sheet was employed with effective area being  $150 \times 10 \text{ mm}^2$  due to the clamped edges. It is important to emphasize that the width of the effective area was at least 10 times greater than the length in the stretching direction. As a result, the specimen must remain perfectly constrained in the lateral direction while specimen thinning occurs only in the

thickness direction. Simulation tests were performed under superimposed displacement, quasi-static loading condition (without time effects), considering a velocity of 10 mm/min.

In the FEM model, the upper and lower surfaces of the specimen contact are considered as clamped to represent the clamping arrangements of the test machine. The lower rigid surface is fixed, and the upper is allowed to move only along the  $X_2$ -axis. Dimensions, mesh and boundary conditions (BCs) of specimen are shown in Fig.2.  $U_1$ ,  $U_2$  and  $U_3$  are the displacements in the  $X_1$ ,  $X_2$  and  $X_3$  directions respectively. The 3D FEA was performed to simulate the test-region of the specimen under tensile loading using Abaqus/Explicit FEA Version 6.9 [18]. The specimen is meshed with 6000 linear hexahedral elements, C3D8H according to ABAQUS/EXPLICIT terminology, which are suitable for modeling incompressible materials [4].

Two hyperelastic energy functions chosen are available in ABAQUS and have previously been used to fit single-mode experimental results of this material. The final values of hyperelastic strain energy parameters for Mooney-Rivlin (first order) and Ogden (first order) models and RMS for all the fitted are summarized in Table 1 as indicated in reference [13].

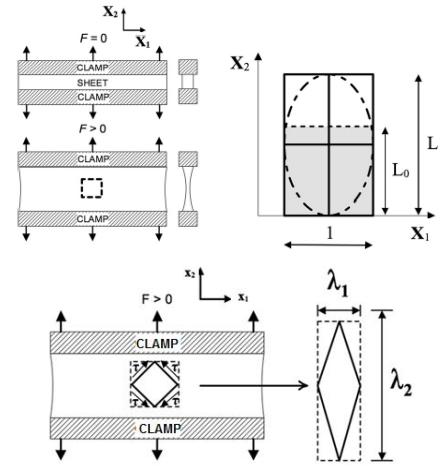


Fig. 1. Pure shear schematic.

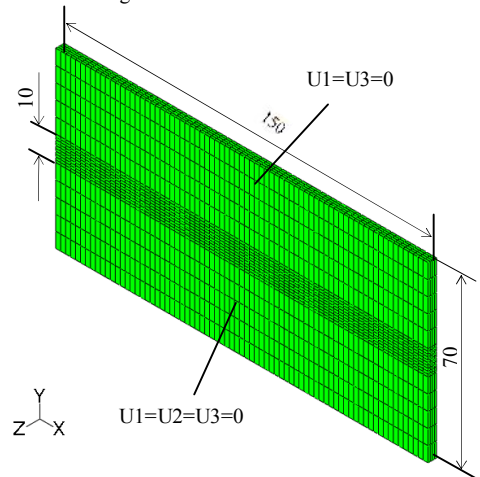


Fig. 2. Geometry, boundary conditions and mesh considered.

TABLE I. HYPERELASTIC STRAIN ENERGY PARAMETERS FITTED ON EXPERIMENTAL DATA

Model	Parameters		RMS
Mooney-Rivlin 1 <sup>st</sup> order	$C_{10} = 0.04802$	$C_{01} = 0.2102$	0.01085
Ogden 1 <sup>st</sup> order	$\alpha_1 = 1.9$	$\mu_1 = 0.5527$	0.008107

#### IV. NUMERICAL RESULTS

In order to validate the material model, FEA was conducted to simulate the pure shear test. Loading was applied as a fixed velocity until a strain of 200% and the results were achieved in the central gauge region of the specimen (Fig. 1).

Figures 3 and 4 show the results of full-field displacements, associated with horizontal  $X_1$  and vertical  $X_2$  directions, achieved when a tensile load equal to 455 N is applied using Digital Image Correlation (DIC) technique in the central region of the sample [13] and FEA simulation with Ogden model, respectively.

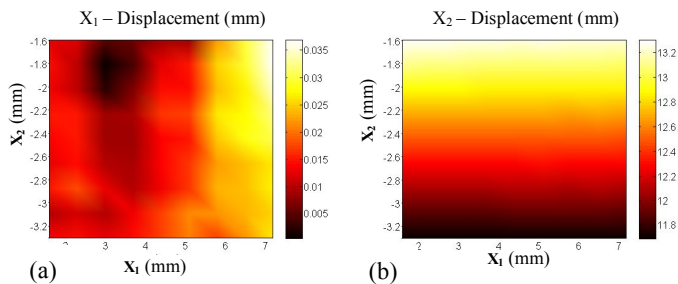


Fig. 3. Full-field displacements obtained on surface area at central region of adhesive by DIC method. (a)  $X_1$ -displacement and (b)  $X_2$ -displacement [13].

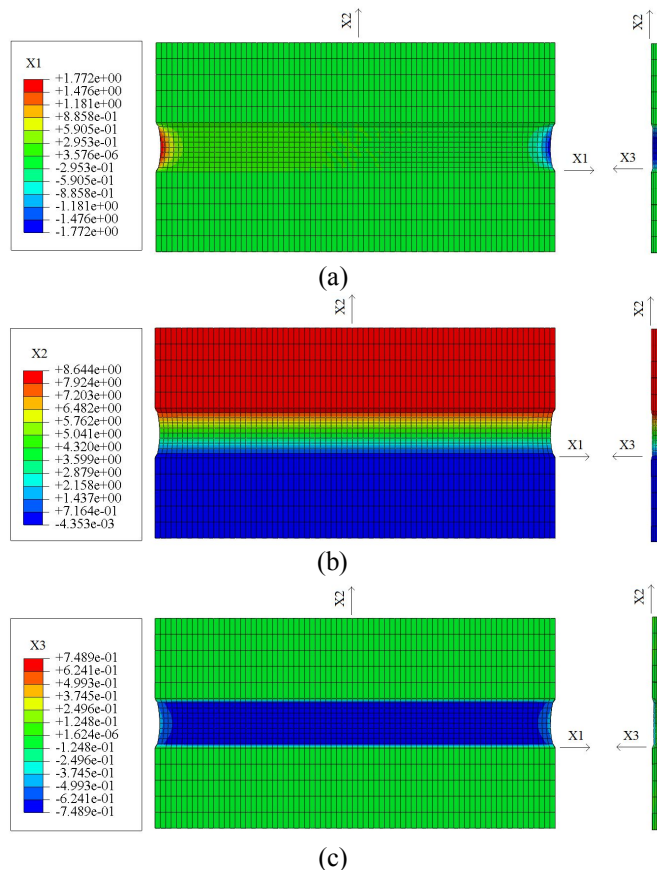


Fig. 4. Full-field displacements [mm] obtained from Ogden model by FEA (a)  $X_1$ -displacement, (b)  $X_2$ -displacement and (c)  $X_3$ -displacement.

As demonstrated in experimental and simulation data, the displacement field  $X_1$  has no significant variation, whereas  $X_2$  displacement field varies linearly with the vertical direction. Thus, displacement field  $X_1$  can be neglected when compared with displacement field  $X_2$ , which is the direction of applied load. Moreover, the simulation gives the displacement field  $X_3$  in thickness direction. It is observed that a thickness reduction occurs in  $X_3$  direction due to the assumption that material is incompressible. The final thickness in the center of the specimen reaches a value of 1.9 mm that represents a reduction of 44%. Therefore, it can be considered that the main deformation occurs only in the vertical direction.

Fig. 5 shows a comparison of the engineering stress ( $P_{22}$ ) - stretch curve generated from FEA models with the stress-strain curve from the experimental data. It shows that a high level of agreement has been achieved with Ogden model. On the other hand, Mooney-Rivlin model presents considerable discrepancy with experimental, being evident that this model is not able to describe the material mechanical behavior. Thus, the FEA was performed to show that the determined constitutive parameter from Ogden model can predict accurate mechanical response to Flextech 101 if used in commercial FEA packages.

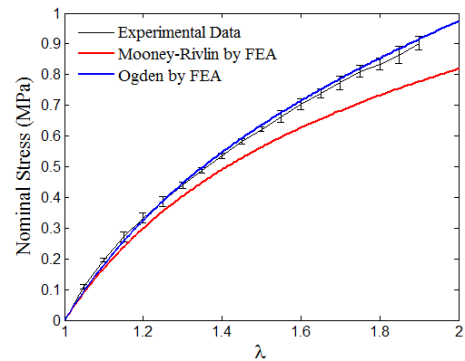


Fig. 5. Comparison between numerical and experimental data for nominal stress-stretch curve.

A comparison between experimental data and numerical simulation for Ogden model is represented in Fig. 6 for Cauchy (true) stress ( $S_{22}$ ). The true stress is determined using the principal stretch and nominal stress considering the relation  $S_{22} = \lambda P_{22}$ .

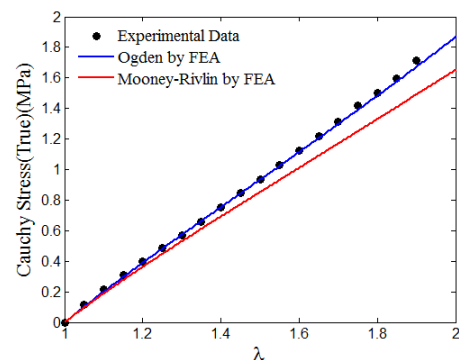


Fig. 6. Comparison between numerical and experimental data for Cauchy stress-stretch curve.

As it can be seen, the FEA results for Ogden model are in accordance with experimental data. Besides, it is possible to observe the linear relationship between true stress and principal stretch. For small deformations both nominal and true stresses coincide. On the other hand, for large deformations Cauchy stress is higher than nominal stress due to true stress takes into account the strained area.

Fig. 7 shows the true stress component  $S_{22}$  field obtained by FEA using Ogden model with applied load of 455 N. For this loading, the maximum stress reaches 1.63 MPa for a correspondent stretch of 1.86. It can be observed that the true stress is uniform in all effective area of specimen.

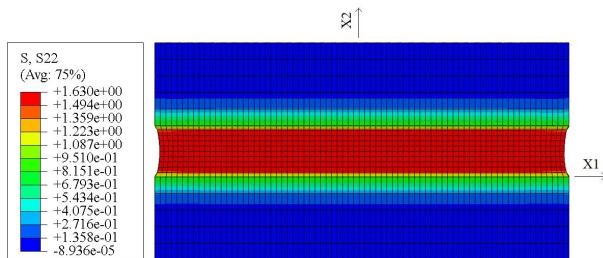


Fig. 7. True stress [MPa] in  $X_2$  direction for a applied load of 455 N.

These results show that a hyperelastic material model appropriately fitted on experimental data bring confidence to these material coefficients. Thus, these material parameters can be applied to the analysis of real designs to provide a means of assessing performance.

## V. CONCLUSIONS

The aim of this paper was to validate the mechanical behavior of a hyperelastic material under pure shear using the finite element method in ABAQUS. It has been demonstrated that, for a range strain cycle, a curve can be generated and FEA software was used to determine a suitable hyperelastic material model via the curve fitting procedure within the Matlab software. A verification of numerical analysis conducted through FEA showed that the determined parameters from Ogden model can closely replicate the experimental data, thus predicting the stress-strain response of FlextecFT101 accurately.

It is important to emphasize that the choice of hyperelastic constitutive model based on strain-energy functions, available in FEM software packages, must take into account the experimental data in order to represent the mechanical behavior of material accurately.

## Acknowledgment

The financial support of Rio de Janeiro State Funding, FAPERJ, and Research and Teaching National Council, CNPq, are gratefully and acknowledged.

## References

- [1] Marckmann, G., Verron, E. Comparison of Hyperelastic Models for Rubberlike Materials. *Rubber Chemistry and Technology*: November 2006, Vol. 79, No. 5, pp. 835-858.
- [2] Huyi Wang, Wenjun Hu, Fengpeng Zhao, Numerical simulation of quasi-static compression on a complex rubber foam, *Acta Mechanica Solida Sinica* (2017), doi:10.1016/j.camss.2017.03.009.
- [3] Shwe P. Soe, Nick Martindale, Chris Constantinou, Michael Robinson. Mechanical characterisation of Duraform Flex for FEA hyperelastic material modelling. *Polymer Testing* 34 (2014) 103–112.
- [4] Johannes Liljenherte, Priyank Upadhyaya e S. Kumar. Hyperelastic strain measurements and constitutive parameters identification of 3D printed soft polymers by image processing. *Additive Manufacturing* 11 (2016) 40–48.
- [5] Gang Hu, Peng Zhang, Guorong Wang, Min Zhang e Ming Li, “The influence of rubber material on sealing performance of packing element in compression packer,” *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 38 (2017) 120 e 138.
- [6] G. Montella, A. Calabrese, G. Serino. Mechanical characterization of a Tire Derived Material: Experiments, hyperelastic modeling and numerical validation. *Construction and Building Materials* 66 (2014) 336–347.
- [7] Brown, Roger. *Physical Testing of Rubber*, 4<sup>th</sup> Ed., 2006.
- [8] Treloar, L.R.G. “Stress-Strain Data for Vulcanised Rubber Under Various Types of Deformation”. *Trans. Faraday Soc.* 39 (1943) 241.
- [9] Rivlin, R.S, Saunders, D.W. “Large Elastic Deformations of Isotropic Materials. VII. Experiments on the Deformation of Rubber”. *Phil.Trans. R. Soc. Lond. A* 243 (1951) 251–288.
- [10] Sasso, M., Palmieri, G., Chiappini, G., Amodio, D. “Characterization of hyperelastic rubber-like materials by biaxial and uniaxial stretching tests based on optical methods”. *Polymer Testing* 27 (2008) 995–1004.
- [11] D.C. Moreira, L.C.S. Nunes. “Comparison of simple and pure shear for an incompressible isotropic hyperelastic material under large deformation”, *Polymer Testing* 32 (2013) 240–248.
- [12] ISO, 1827. Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of shear modulus and adhesion to rigid plates - Quadruple-shear methods. Third edition, 2007.
- [13] Araújo, F. A, Nunes, L.C.S. Theoretical and Experimental Study of a Hyperelastic Polymer under Pure Shear. 22<sup>nd</sup> International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013).
- [14] Holzapfel, Gerhard.A., “Nonlinear Solid Mechanics – A Continuum Approach for Engineering”. John Wiley & Sons, Ltd, Ed. 2000.
- [15] Meunier, L., Chagnon, G., Favier, D., Orgéas, L. and Vacher, P., 2008, “Mechanical experimental characterisation and numerical modelling of an unfilled silicone rubber”. *Polymer Testing*, Vol. 27, pp 765–777.
- [16] Haines, D, Wilson, D. Strain energy density functions for rubber like materials, *J. Mech. Phys. Solids* 27 (1979) 345–360
- [17] Ogden, R.W. *Non-linear Elastic Deformations*, Dover Publications, Mineola, NY, 1997.
- [18] ABAQUS/Standard Version 6.10-1. Abaqus/CAE user’s manual. Providence, RI, USA: Dassault Systemes simulia Corp.; 2010.



# *Aplicação do PDMS ao estudo Biomecânico de Aneurismas Cerebrais: Revisão*

## *Caracterização numérica do campo de deslocamento e deformação para materiais hiperelásticos*

Eduardo Marques

Escola Superior de Tecnologia e Gestão- ESTiG  
Instituto Politécnico de Bragança, CEFET/RJ  
Bragança, Portugal  
[Edu7marques@gmail.com](mailto:Edu7marques@gmail.com)

João Ribeiro

Departamento Mecânica dos Sólidos Aplicados  
Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Bragança, Portugal  
[jribeiro@ipb.pt](mailto:jribeiro@ipb.pt)

Alexandre Pereira

Departamento Mecânica dos Sólidos Aplicados  
Centro Federal de Educação Tecnológica-CEFET/RJ  
Angra dos Reis, Brasil  
[alexluizp@gmail.com](mailto:alexluizp@gmail.com)

Fernando Araújo

Departamento Mecânica dos Sólidos Aplicados  
Centro Federal de Educação Tecnológica-CEFET/RJ  
Angra dos Reis, Brasil  
[Fernandoaraujo083@gmail.com](mailto:Fernandoaraujo083@gmail.com)

**Abstract—** The characterization of mechanical properties of materials with non-linear behavior has become a big challenge in the field of mechanical engineering, requiring more in-depth studies. In the last decades there has been an enormous growth in the study and analysis of biological tissues, which perform important functions in the human body, besides having a non-linear behavior and hard characterization. Brain aneurysms are pathological dilations of the cerebral arteries and are known as one of the most common and severe cerebrovascular incidents involving people in all world, of different ages, genres and profiles. This paper review has as main goal the characterization of biomechanical behavior of a cerebral aneurysm by numerical simulations, using the finite element method, in order to analyze and understand the mechanism of aneurysm rupture. The material used for these analyzes was polydimethylsiloxane (PDMS), whereas it has hyper-elastic properties like blood vessels and is usually the material used in the experimental studies. For this analysis applied the study of different constitutive models, so that in the future they can be used in numerical simulations using the Ansys® software to obtain conclusive results.

**Keywords—** Aneurysms; polydimethylsiloxane; hyper-elastic; constitutive models; numerical simulations

### I. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas têm surgido grandes preocupações a respeito das doenças cardiovasculares, em especial a formação de aneurisma. Este consiste numa doença silenciosa, onde cerca de 70% dos casos é diagnosticado tardiamente [1]. No Brasil cerca de 6,5 mil pessoas morrem anualmente por ruptura de aneurismas, nos Estados Unidos, no ano de 2014, foram registradas 9,9 mil mortes por aneurismas da aorta [2]. Devido a

esses alarmantes dados, verifica-se a necessidade de estudar e caracterizar o comportamento biomecânico do aneurisma, dadas as imensas perdas de vida provocadas por essa doença [2, 3].

O aneurisma é uma dilatação localizada na parede de um vaso sanguíneo ou artéria, normalmente causado por aterosclerose e hipertensão, infecção ou fraqueza congênita [4], em outras palavras, se caracteriza por uma distensão nas paredes das artérias sendo causada pelo enfraquecimento e/ou destruição da parede arterial [5]. Uma vez formado o aneurisma, o fluxo de sangue começa a gerar pressão repetitiva e tensões de corte na parede arterial enfraquecida, geralmente isso causa uma expansão gradual do vaso sanguíneo [6]. Um aneurisma pode se romper ou não, tudo depende da pressão que ocorre no sistema arterial, a variação dessa pressão como mencionado anteriormente, pode causar o aumento do tamanho do aneurisma, esse aumento gera compressões em outras estruturas diminuindo assim o fluxo sanguíneo e causando isquemia, dessa forma podendo seriamente causar o rompimento do mesmo [7].

Os aneurismas são classificados de acordo com a sua forma e sua localização no corpo humano, dividindo-se em dois grupos: fusiformes e saculares (*Fig 1*). Os aneurismas saculares são os que, na zona dilatada do vaso, possuem o formato esférico, e são conhecidos por serem o tipo mais comum de aneurisma nas artérias cerebrais [8, 9, 10].

O estudo e caracterização do comportamento biomecânico dos aneurismas é normalmente efetuado com duas abordagens distintas. A primeira realizada de forma numérica, recorrendo a códigos de elementos ou de diferenças finitas, enquanto a outra se trata de método experimental. Na abordagem numérica são

desenvolvidos modelos constitutivos que permitem simular o comportamento do escoamento do sangue nas artérias e a deformação das paredes arteriais. Experimentalmente, é habitual desenvolver modelos *in vitro* que imitam o escoamento e deformação das artérias utilizando materiais com comportamento biomecânico semelhante ao das artérias e do sangue.

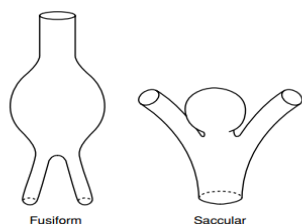


Fig. 1. Aneurisma fusiforme e sacular [8]

O tecido arterial tem um comportamento biomecânico que se caracteriza pela capacidade de sofrer elevadas deformações antes de atingir a tensão de ruptura, ou seja apresenta um comportamento denominado por hiperelasticidade. Existem outros tecidos biológicos com o mesmo tipo de comportamento como é caso do tecido muscular ou o tecido epitelial. Da mesma forma, existem tecidos não biológicos que têm um comportamento hiperelástico quando sujeitos a carregamentos externos, como é o caso de algumas borrachas ou silicones por exemplo.

Assim, muitas vezes para avaliar de forma experimental e numérica o comportamento biomecânico das artérias durante o escoamento do sangue, particularmente nos aneurismas, é comum recorrer-se a alguns materiais hiperelásticos não biológicos como, por exemplo, alguns tipos de silicone. Sendo o silicone mais utilizado para este tipo de estudos o polidimetilsiloxano, também conhecido por PDMS. Este material, para além do comportamento hiperelástico, tem características que o tornam atrativo em aplicações biomédicas experimentais, nomeadamente, a sua biocompatibilidade com os seres humanos e o seu baixo custo.

## II. ANEURISMAS CEREBRAIS

Os aneurismas intracranianos ou cerebrais caracterizam-se por uma dilatação anormal na parede das artérias, situadas geralmente no polígono arterial de *Wills* (a primeira rede de artérias que leva sangue ao cérebro) [9]. Eles podem ser congênitos, traumáticos, artioscleróticos, por alongamento séptico ou formação de bolsa para fora das paredes dos vasos [11, 12]. Em casos graves, o aneurisma pode romper, de tal forma que, após o rompimento, o sangue é derramado para os tecidos próximos, que irá se espalhar para as meninges (membranas que recobrem o cérebro) [7]. Esse sangramento pode ocorrer na área cheia do fluido que rodeia o tecido do cérebro, denominada espaço subaracnóideo [13]. Um aneurisma rompido pode induzir a hemorragia nesse espaço, e fatalmente levar a um AVC “acidente vascular cerebral” [13].

Apesar dos aneurismas terem sido grande alvo de muitos estudos, alguns dados precisos sobre a sua geometria são bem limitados, e sua compreensão é de extrema importância para os estudos que buscam informações sobre a fisiopatologia da doença principalmente para as simulações numéricas e modelos

biomatemáticos, que como dito anteriormente, incluem experimentação *in vitro* com simuladores vasculares [14].

No atual estado de conhecimento, pouco se sabe sobre como os aneurismas se formam e suas possíveis causas de ruptura, estas dúvidas ainda são grande foco de discussão. Observando que o comportamento dos aneurismas difere caso a caso, e isso pode ser explicado por fatores estruturais da parede arterial que podem ser adquiridos no nascimento, doenças específicas, fatores hemodinâmicos que alteram o fluxo em determinadas regiões da artéria. Além de fatores como idade, sexo, uso de cigarro ou drogas que favoreçam aneurismas com características diferentes [15].

Existem duas teorias relacionadas às causas hemodinâmicas da ruptura do aneurisma. Uma teoria diz que os aneurismas estão sob uma baixa tensão de corte na parede, o que desencadeia processos, como a remodelação na parede do aneurisma, resultando em ruptura. A segunda teoria considera que os processos com elevadas tensões de corte nas paredes são responsáveis pelos danos causados na parede do vaso, o que resulta na sua ruptura [16]. Assim, o estudo relacionado com as tensões de corte reveste-se de elevada importância para caracterizar e avaliar se os aneurismas estão sujeitos a elevadas ou baixas tensões de corte.

Em estudos anteriores, foram definidos os padrões de fluxo e as tensões de corte relacionados em saculares. A força máxima de corte foi identificada perto do pescoço e não na cúpula, onde a ruptura ocorre normalmente [17]. Além disso, a tensão que uma parede dessas artérias sofre é na ordem de 1MPa ou mais, com a resistência à ruptura em 10MPa [9].

Com parâmetros baseados nesses valores, é possível realizar um ensaio experimental de corte (corte puro), onde o PDMS atuando como vaso simulador é possível obter dados relativos à ruptura de um aneurisma, além de comparar com os resultados das simulações numéricas.

## III. POLIDIMETILSILOXANO (PDMS)

O PDMS é um polímero orgânico à base de silício, pertencente também ao grupo dos siloxanos [18]. No início este novo grupo de materiais foi chamado de silicocetones ou silicones, entretanto não possuíam em suas cadeias monômeras uma dupla ligação Si = S, de tal forma que seu nome foi substituído por siloxanos ou polissiloxanos. Do grupo dos siloxanos, o PDMS é um dos materiais mais estudados [19] e que cresceu, de uma grande forma, nos últimos anos.

A utilização e aplicação desse polímero é muito vasta e nas áreas relacionadas com engenharia, esse material tem sido alvo de muitos estudos. Como mencionado anteriormente, é caracterizado por pertencer à classe orgânica e ser à base de silício, isso implica grandes vantagens para esse material. Apresenta baixo custo, facilidade de fabricação, biocompatibilidade e flexibilidade [18]. O PDMS possui também boa elasticidade, excelentes propriedades ópticas e propriedades químicas estáveis [20].

### A. Propriedades do Polidimetilsiloxano

Os materiais poliméricos compreendem a seguinte classificação: plásticos (termoplásticos e termoestáveis) e os elastômeros (borrachas) [21]. O PDMS é um elastômero com propriedades interessantes para o desenvolvimento de

microestrutura para diversas aplicações e apresenta, ainda, boa estabilidade térmica, baixa tensão superficial e é ópticamente transparente [22, 23].

Outras propriedades favorecem o PDMS de diversas formas, por ser um silicone, é quimicamente inerte e resistente à decomposição pelo calor, água ou agentes oxidantes, caracterizando-se pelo elevado tempo de vida útil, sendo este de, no mínimo, 10 anos. Pelo fato de serem inertes não prejudicam o meio ambiente, não contaminando o solo, a água ou o ar. Além disso, quando incinerados não apresentam reações químicas que podem gerar gases e poluir a atmosfera [24].

Com os dados da Tabela I verifica-se que o tempo de degradação do PDMS após passagem de água e secagem em alguns solos não ultrapassa os 28 dias.

TABELA I. TAXA DE DEGRADAÇÃO DO PDMS EM VÁRIOS SOLOS [25]

Local	% Orgânica e % Água após secagem		
	Ph	% Matéria Orgânica	Tempo de Degradação (dias)
Appling	5.7	0.9	4-7
Cashmont	6.8	2.2	7-10
Fargo	7.6	5.2	21-28
Hasting	5.8	3.0	7-10
Londo	7.6	2.4	10-14
Tuscola	7.2	0.7	7-10
Wahiawa	4.7	1.9	4-7

O PDMS apresenta algumas propriedades mecânicas muito boas. Sua suavidade permite o movimento mecânico de válvulas e bombas, além disso, apresenta capacidade de deformação reversível. Infelizmente, apresenta baixa resistência mecânica, todavia, possui alta versatilidade. O fato de ser o único polímero com ligação silício-oxigênio ao invés da convencional estrutura de carbono, torna-o menos sensível à temperatura. Porém, uma de suas características mais importante é de apresentar propriedades microestruturais isotrópicas e homogêneas [26].

Para o estudo de simuladores vasculares (materiais hiperelásticos) a sua deformação reversível, aliado às suas características isotrópicas e homogêneas, fazem deste polímero um dos mais adequados para esse estudo. O polidimetilsiloxano é um biomaterial que já é bastante comercializado e com inúmeras aplicações em diversas áreas. No entanto, por ser um material recente, ainda não existe muita informação relativa às suas características mecânicas para rácios diferentes do 10:1, sendo sendo este rácio o recomendado pelo fabricante [27]. A partir disto, surge a necessidade da caracterização mecânica deste material.

#### B. O polidimetilsiloxano na área Biomédica

Como referido anteriormente, o polidimetilsiloxano apresenta biocompatibilidade e não é tóxico. Parâmetros importantes para o uso na biomedicina. A melhor definição para biomateriais, refere que são substâncias de origem natural ou

sintética que são toleradas, de forma transitória ou permanente, pelos diversos tecidos que constituem os órgãos dos seres vivos [28].

Eles são utilizados, numa parte ou como um todo, num sistema que se pode restaurar, substituir algum tecido, órgão ou função do corpo. Os biomateriais podem ser polímeros sintéticos ou naturais que são fabricados especialmente para entrar em contato com células, proteínas, tecidos, órgãos, entre outros. Os biomateriais devem obedecer às seguintes condições: não ser tóxico, não carcinogênico, não antigênico e não mutagênico [28].

Devido às suas ótimas características, o PDMS possui uma vasta gama de aplicações na biomedicina. Utilizado em cateteres e tubos de drenagem para sondas de marca-passos, utilizado como um componente em enxertos cardiovasculares, devido a sua excelente flexibilidade e estabilidade é usado numa variedade de próteses, como articulações de dedo, vaso sanguíneo, válvulas do coração, implante para os seios [29] e outras tantas diversas aplicações. Além disso, o uso do PDMS foi estendido para a química analítica, administração de fármacos, síntese e análise biológicas, sequenciamento de DNA e biossensores [30, 31]. Outras de suas aplicações estão relacionadas com o estudo comportamento de microfluidos [32] e no tratamento de aneurismas.

Para o estudo dos aneurismas, é de extrema importância o conhecimento da mecânica dos sólidos das artérias e veias, porque a partir de suas características e propriedades é possível selecionar materiais, como o PDMS, que têm algumas características mecânicas próximas dos tecidos biológicos.

### IV. MECÂNICA DOS SÓLIDOS

#### A. Mecânica dos Sólidos Cardiovasculares

É importante entender que a vitalidade de um sistema cardiovascular é dada pelo coração, vasos sanguíneos e o sangue [9]. Para se compreender melhor o aneurisma e analisar sua geometria a partir de vasos simuladores, é necessário o conhecimento à cerca da mecânica dos sólidos cardiovasculares (veias, artérias).

Através de estudos e pesquisas da resposta do coração e das artérias a cargas mecânicas do ponto de vista de mecânica dos sólidos não-lineares, houve a percepção de que para analisar as respostas complexas das células cardiovasculares, tecidos e órgãos requerem boas abordagens teóricas, experimentais e, principalmente, computacionais [9].

Para esse estudo, recorre-se à biomecânica. Em uma análise morfológica da palavra biomecânica, pode decompor-se o termo em duas partes. No qual “bio” significa “de origem biológica”, referente aos seres vivos e “mecânica” é a ciência que descreve e prediz as condições de repouso ou de movimento de corpos sob a ação de forças. Logo, biomecânica significa a utilização dessa ciência ao estudo do efeito da aplicação de forças sobre seres vivos e a consequente previsão de deslocamento e tensões [33].

Podendo ser melhor descrita, como sendo a ciência que estuda as forças internas e externas que atuam no corpo humano e, os efeitos produzidos por essas forças [34]. Ou seja, esta definição, nada mais é, do que uma adaptação da definição de mecânica aplicada a sistemas biológicos, neste caso o corpo humano.

No caso em análise, estuda-se um vaso sanguíneo que pode ser definido como um tecido biológico. Os tecidos biológicos são classificados em tecidos duros e tecidos moles. Os ossos são classificados como tecidos duros, enquanto que os tecidos vasculares, musculares, a pele, entre outros, são classificados como tecidos moles [35].

Os vasos sanguíneos são compostos por órgãos constituídos por tecidos moles que se têm de distender, em resposta a ondas de impulso [36]. Apesar de cada tecido biológico mole apresentar um comportamento único, existem comportamentos característicos gerais comuns a muitos tecidos [9]. Os tecidos moles apresentam comportamento anisotrópico, isto devido às suas fibras que tendem a ter direções preferências. A resposta à tensão do tecido mole é de endurecimento não-linear e a sua resistência à tração depende da taxa de deformação. Em contraste com os tecidos duros, os tecidos moles podem sofrer grandes deformações e nelas apresentam comportamento não-linear [9, 36].

Os vasos sanguíneos, a partir de diferentes localizações, apresentam propriedades viscoelásticas dependendo do seu papel funcional. As propriedades mecânicas dos vasos sanguíneos podem ser ainda mais influenciadas pela genética, idade, estilo de vida e estado de doença. Os tecidos das artérias possuem um comportamento hiperelástico e são caracterizados pelas elevadas deformações que exibem antes de atingir a tensão de ruptura [6].

Tal posse da informação de que os vasos sanguíneos têm um comportamento hiperelástico, é de importância conhecer as propriedades usadas na simulação numérica, para que os resultados sejam o mais próximo do real.

#### B. Materiais Hiperelástico

A lei de Hooke aplicada aos materiais permite visualizar comportamentos lineares, verificando que o comportamento linear é mostrado no início do gráfico, ratificando que a tensão é proporcional à deformação, existindo, assim, uma constante de proporcionalidade entre essas duas grandezas.

Porém, quando um material atinge seu estado de deformação plástica segundo a lei de Hooke, esse processo torna-se totalmente irreversível, ou seja, o material é incapaz de retornar pro seu estado original.

Nesse contexto, medições experimentais da tensão-deformação para materiais como a borracha, deu a Mooney [37] e Rivlin [38] evidências suficientes de que a teoria linear de elasticidade (lei de Hooke), era uma abordagem imprópria para as propriedades mecânicas desses materiais.

Num ensaio de tração uniaxial com um provete de borracha foi possível verificar a falha da captação na elasticidade linear o que configurou a não-linearidade nesse material [39].

Com o objetivo de estudar materiais cujas propriedades normalmente, sofrem grandes deformações com pequenas forças aplicadas, foi desenvolvida uma teoria clássica sobre a elasticidade não linear [40-42].

A teoria não linear da elasticidade que constitui a base teórica para o estudo de materiais hiperelásticos, tais como elastômeros [41], utiliza uma função ( $\Psi$ ) que relaciona tensão-energia para descrever, em termos energéticos, o comportamento mecânico dessa classe de materiais [43].

As propriedades hiperelásticas são características comuns entre alguns materiais biológicos e elastômeros [44]. Logo, a

aplicação da teoria não-linear da elasticidade é a que melhor convém ao estudo do comportamento mecânico dos tecidos moles biológicos.

Para as simulações computacionais, modelos constitutivos foram desenvolvidos associados a essa teoria não-linear para melhor representar esses comportamentos.

#### V. MODELOS CONSTITUTIVOS

Alguns materiais biológicos, como os tecidos moles, têm um comportamento não-linear hiperelástico, a partir desse ponto toma-se a importância do conhecimento de seus modelos constitutivos [42,44].

Um modelo constitutivo numa análise mecânica representa a relação entre a resposta de um organismo ou material (por exemplo, estado de deformação e tensão) devido às forças que agem sobre o corpo. Uma grande variedade de comportamento de materiais é descrita com algumas classes de diferentes equações constitutivas [45].

Os modelos hiperelásticos têm sido utilizado para modelar comportamentos não-lineares e anisotrópicos de materiais, uma vez que os tecidos moles, sob grandes deformações, recuperam a sua elasticidade. O comportamento constitutivo de materiais hiperelásticos é definido em termos de potencial de energia de deformação [46].

Os tecidos moles são conhecidos por apresentarem isotropia transversal e simétrica [42].

Como dito anteriormente, nesta teoria existe uma função ( $\Psi$ ) de energia de deformação, também chamada energia livre de Helmholtz ou energia armazenada que descreve, em termos energéticos o comportamento mecânico desta classe de materiais (1):

$$P = \frac{\partial \Psi}{\partial F} \quad (1)$$

Ou no caso mais geral (2):

$$P = -pF^T + \frac{\partial \Psi}{\partial F} \quad (2)$$

Onde  $P$  é o primeiro tensor das tensões de Piola-Kirchhoff,  $F$  é o gradiente das deformações,  $p$  é um múltiplo de lagrange, obtido em função do estado de tensão e  $T$  de transposto, isto é,  $F^T$  corresponde ao transposto do gradiente das deformações.

A função de energia livre de Helmholtz,  $\Psi$ , é um potencial termodinâmico que mede o trabalho útil para a obtenção de um sistema termodinâmico fechado, a uma temperatura e volume constante [47].

Um modelo de materiais hiperelásticos depende da definição da função energia de deformação, que assume diferentes formas de acordo com o material ou classe de materiais considerados. Esta função é obtida a partir da simetria, termodinâmica e considerações energéticas [47].

Por simplificação, assumiu-se que, no caso em análise, o material é isotrópico e incompressível. Sendo o material isotrópico, as funções de energia de deformação ( $\Psi$ ), (são expressões matemáticas que somam a energia armazenada do material, proveniente do trabalho, para deformá-lo [36]), dependem dos invariantes da deformação, eq. (3):

$$\Psi_{iso} = \Psi(I_1, I_2, I_3) \quad (3)$$

Onde:

$$I_1 = \sum_{i=1}^3 \lambda_i^2$$

$$I_2 = \sum_{i,j=1}^3 \lambda_i^2 \lambda_j^2$$

$$I_3 = \prod_{i=1}^3 \lambda_i^2$$

sendo,  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  e  $\lambda_3$  os alongamentos principais.

Se o material hiperelástico é também incompressível ( $I_3=1$ ), a equação 3 será:

$$\Psi_1 = \Psi(I_1, I_2) \quad (4)$$

Como as variantes da deformação dependem dos alongamentos principais ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ), as funções da energia de deformação, podem aparecer como funções dos alongamentos.

$$\Psi_1 = \Psi(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) \quad (5)$$

De seguida, faz-se uma descrição sucinta dos modelos de energia de deformação  $\Psi$  para alguns modelos hiperelásticos. A partir da equação do tensor de Cauchy e da calibração adequada dos principais ensaios experimentais de tracção (uniaxial ou biaxial), determinam-se as equações constitutivas dos modelos hiperelásticos.

#### A. Modelo de Mooney-Rivlin

A importância deste modelo é bem conhecida, não apenas por razões históricas, visto ter sido um dos primeiros modelos hiperelásticos, mas também devido à sua alta precisão na previsão do comportamento não-linear de materiais isotrópicos. A função de energia livre para este modelo é muitas vezes vista na literatura como sendo:

$$\Psi = \frac{\mu_1}{2} (I_1 - 3) - \frac{\mu_2}{2} (I_2 - 3) \quad (6)$$

De modo a poder-se reescrever esta expressão de forma mais simples, os parâmetros do material  $\mu_1$  e  $\mu_2$  irão ser substituídos por  $C_1$  e  $C_2$ .

$$\Psi = \sum_{i=1}^2 C_i (I_i - 3) \quad (7)$$

onde  $C_1$  e  $C_2$  são constantes do material a serem determinadas durante o processo de calibração [39].

#### B. Modelo de Yeoh

O modelo Yeoh para materiais incompressíveis, como é o caso da borracha, foi apresentado pela primeira no início da década de 1990 [48]. A função da energia de deformação que caracteriza este modelo depende só do primeiro invariante da deformação (8):

$$\Psi = \sum_{i=1}^3 C_i (I_1 - 3)^i \quad (8)$$

onde  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  são constantes do material que são determinadas dos ensaios experimentais [36].

#### C. Modelo de Ogden

O modelo Ogden é utilizado para descrever o comportamento não linear de materiais complexos tais como borracha, polímeros e tecidos biológicos. Este modelo é descrito pela seguinte expressão:

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) \quad (9)$$

onde  $N$  é o número total de termos da série e  $\mu_i$  e  $\alpha_i$  são constantes materiais, podendo ser positivas, negativas, inteiras ou não. No modelo de Ogden deve ser respeitada a seguinte restrição teórica:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \mu_i \alpha_i \quad (10)$$

De acordo com Holzapfel [36], é alcançada uma boa convergência entre os resultados teóricos e experimentais para a borracha quando  $N=3$ .

Com este modelo é possível obter outros modelos por simplificação, como por exemplo, o modelo Neo-Hookean onde  $N=1$ ,  $\mu_1=\mu$ ,  $\alpha_1=2$  [36].

#### D. Método dos Elementos Finitos

O programa *Ansys®* é um código de elementos e de diferenças finitas comercial utilizado para modelar sólidos, de forma a resolver problemas na modelação de formas/funções, tensões, deformações, fluxo de fluidos, entre outros [49]. Desta forma é possível visualizar, calcular e compreender o comportamento de uma determinada estrutura/fluido perante tensões impostas, fazendo estudos mais precisos e a curto prazo, de modo a prever situações que eventualmente possam vir a acontecer.

O Método de Elementos Finitos (MEF) é utilizado nas mais diferentes áreas da engenharia, desde análise de estruturas à transferência de calor e escoamento de fluidos. Este método busca soluções numéricas, para um conjunto de equações relacionadas a um problema físico, equações estas que representam as particularidades do problema real a ser

estudado. Este método prevê a divisão do domínio de integração (o contínuo) num número finito de regiões denominadas elementos finitos. O conjunto desses elementos é denominado de malha de elementos finitos, e é na malha que são programadas as propriedades do material e da estrutura a ser estudada, baseada nas características do problema real [50].

## VI. CONCLUSÕES

A partir desta revisão bibliográfica foi possível perceber uma série de fatores que podem ser desenvolvidos para trabalhos futuros. Um deles é que, qualquer modelo constitutivo estudado pode ser aplicado para este estudo, permitindo a análise do papel do comportamento da parede de uma artéria ou vaso sanguíneo no mecanismo da formação de um aneurisma. Isto porque, por estudos e trabalhos anteriores foi possível perceber que o tipo de distribuição das deformações e dos deslocamentos foi similar para vários modelos. Como mencionado durante este estudo, os aneurismas possuem geometrias complexas e de difícil detalhe. Para um trabalho posterior, será necessário desenvolver modelos de aneurisma que poderão ser fabricados, *in vitro*, em PDMS com geometrias mais próximas do real. Além disso, como mencionado durante a revisão, muitos trabalhos mostram o caráter inovador dessa ideia, com trabalhos recentes, mostrando que a engenharia mecânica cada vez mais cresce nas indústrias de pontas. Ficando como referência o estudo da caracterização dos campos hiperelásticos [51].

## REFERÊNCIAS

- [1] P. E. Norman, W. M. Castleden, and M. M. Lawrence-Brown, "Screening for abdominal aortic aneurysms," *Aust. N. Z. J. Surg.*, vol. 62, no. 5, pp. 333–337, 1992.
- [2] J. B. Carvalho, G. Aparecido, P. Baggio, A. Brasil, I. Solteira, A. Brasil, and I. Solteira, "Análise de um aneurisma aórtico com simulação numérica de escoamento," *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia*, vol. 12, no. 2, pp. 208–225, 2017.
- [3] A. S. Go, et al., *Heart Disease and Stroke Statistics - 2014 Update: A report from the American Heart Association*, vol. 129, no. 3, 2014.
- [4] W. E. DeTurk, L. P. Cahalin, Livro "Fisioterapia Cardiorespiratória: Baseada em Evidências", Editora Artmed, Brasil, 2007.
- [5] C. S. de Oliveira, C. N. Xavier, C. B. Schibelbein, G. C. X. Cardoso, G. Campo, K. R. A. Kochla, and G. L. B. Veloso, "Aplicação da teoria de Florence Nightingale na rotina de uma paciente com linfoma," *7º conclave dos acadêmicos Enferm. da Univ. Posit.*, pp. 98–102, 2015.
- [6] C. S. da S. Cardoso, "Estudo do Comportamento Biomecânico de Aneurismas Cerebrais," *Dissertação da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Mestrado em Tecnologia Biomédica, Bragança*, pp. 124, 2015.
- [7] Nettina, S.M. "Prática de Enfermagem," v.1, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- [8] J. C. Lasheras, "The Biomechanics of Arterial Aneurysms", Department of Mechanical and Aerospace Engineering and Whitaker Institute of Biomedical Engineering, University of California, San Diego, California, pp. 294–297, 2007.
- [9] J. D. Humphrey, "Cardiovascular Solid Mechanics - Cells, Tissues, and Organs", Department of Biomedical Engineering, Texas A&M University, College Station, pp.3–30, USA, 2002.
- [10] F. Carancia, F. Brigantia, L. Cirillob, M. Leonardib, M. Mutoc, "Epidemiology and genetics of intracranial aneurysms", *European Journal of Radiology*, Vol. 82, Issue 10, pp. 1598–1605, 2013.
- [11] Black, J.M.; Matassarín-Jacobs, E. Luckmann & Forensen. "Enfermagem medicocirúrgica: uma abordagem psicofisiológica". Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, cap. 6, pp. 589–796, 1996.
- [12] Holanda, L. et al. Hemorragia meningeia. In: "Manual de neurocirurgia." 2. ed. São Paulo: Fundo BYK, cap. 7, pp. 87–95, 1995.
- [13] Lee, Yick. "Hemodynamics of a cerebral aneurysm model." *California engineer student journal of the UC engineering colleges*, pp. 20–23, 2006.
- [14] L. Parlea, R. Fahrig, D. W. Holdsworth, S. P. Lownie, "An Analysis of the Geometry of Saccular Intracranial Aneurysms", *AJNR Am J Neuroradiol*, Vol. 20, No. 6, pp.1079–1089, 1999.
- [15] B. M. C. Azevedo, "Estudo preliminar da hemodinâmica em modelos simplificados de aneurismas saculares," *Dissertação – Universidade de Portugal, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal*, 2010.
- [16] Bento, M., Ribeiro, A. F., Pereira, E., Lobo, R. F., Macedo, A. L., & Orfão, R., "Blood Transfusion and Related Risk Factors in Cerebral Aneurysm Surgery." *Transfusion Medicine*, v. 24, pp. 22, 2014.
- [17] H. J. Steiger, R. Aaslid, S. Keller, and H. J. Reulen, "Strength, elasticity and viscoelastic properties of cerebral aneurysms", *Livro Heart and Vessels*, Vol. 5, pp. 41–46.
- [18] P. J. T. de Sousa, "Estudo e otimização de estruturas em PDMS para dispositivos microfluídicos", *Tese de Mestrado, Universidade do Minho*, pp.7–14, 2011.
- [19] Kuncová-Kallio, Johana, "PDMS and its Suitability for Analytical microfluidic Devices", In *Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS'06. 28th Annual International Conference of the IEEE* (pp. 2486–2489, 2006).
- [20] B. Zhang, J. Cui, J. Duan, M. Cui, "A new fabrication method for nano-gratings based on the high flexibility of PDMS", *Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement, North University of China*, vol.8616, pp. 86160Y-1, 2017.
- [21] Gupta, R. K., Kumar, "A Fundamentals of Polymer Engineering. MacGraw-Hill,"CRC Press, 1997.
- [22] McDonald, JC, et al, Fabrication of microfluidic systems in poly(dimethylsiloxane), *Electrophoresis*, vol. 21, pp. 27–40, 2000.
- [23] Hakan, Jönsson, "Microfluidics for lab-on-a chip applications", *The Lund Graduate School of Biomedical Research*, 2004.
- [24] F. Schneider, "Mechanical Properties of Silicones for MEMS," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, v. 18, no. 6, p. 065008, 2008.
- [25] D. Graiver, K. W. Farminer, and R. Narayan, "A Review of the Fate and Effects of Silicones in the Environment," *J. Polym. Environ.*, vol. 11, no. 4, pp. 129–136, 2003.
- [26] D. Anjos, E. Revôredo, A. Galembeck, "Blendas de PDMS-PMMA para Próteses Faciais", 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Brasil, 2007.
- [27] N. R. P. Moreira, "Estudo de várias propriedades mecânicas do polidimetilsiloxano (PDMS) usado em dispositivos biomédicos," *Tese de doutorado*, 2013.
- [28] J. de Souza, L. P. R. Martins, P. S. Tessaro, "Polímeros na Medicina", *UDESC*, 2014.
- [29] M. F. Schneider, J. Draheim, R. Kamberger, U. Wallrabe, "Process and material properties of polydimethylsiloxane (PDMS) for Optical MEMS", *Sensors and Actuators A*, 151, pp. 95–99, 2009.
- [30] Weibel, D. B., & Whitesides, G. M., "Applications of microfluidics in chemical biology", *Current Opinion in Chemical Biology*, pp. 584–591, 2006.
- [31] Pirmoradi, F. N., Jackson, J. K., Burt, H. M., & Chiao, M., "On-demand controlled release of docetaxel from a battery-less MEMS drug delivery device", *Lab on a Chip*, v. 11, no. 16, pp. 2744–2752, 2011.
- [32] Wong, I., & Ho, C. M. "Surface molecular property modifications for poly(dimethylsiloxane) (PDMS) based microfluidic devices," *Microfluidics and Nanofluidics*, v. 7, n. 3, pp. 291, 2009.
- [33] Barbosa, Tiago. Introdução à Biomecânica. <http://www.ipb.pt/~barbosa/biomecânica/introdução.htm#definições>. Acesso em, v. 16, n. 05, pp. 04, 2004.
- [34] Hay, J. "The Biomechanics of Sports Techniques." Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J, 1978.
- [35] B. A. B. Mendonça, "Desenvolvimento de um método híbrido para caracterização dos campos de deslocamentos e de deformações em materiais híper-elásticos" *Dissertação da Escola Superior de Tecnologia*



- e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Mestrado em Tecnologia Biomédica, Bragança, 2013.
- [36] G.A. Holzapfel, "Biomechanics of Soft Tissue", livro Computational biomechanics, biomech preprint series, Paper No. 7, Institute for Structural Analysis, Graz University of Technology, Austria, 2000.
  - [37] Mooney, M. "A theory of large elastic deformation." J. Appl. Phys. 11, pp. 582-592, 1940.
  - [38] Rivlin, R. S. "Large elastic deformations of isotropic material.". IV. Further developments of the general theory. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 241, n. 835, pp. 379-397, 1948.
  - [39] Martins, P. A. L. S., R. M. Natal Jorge, and A. J. M. Ferreira. "A Comparative Study of Several Material Models for Prediction of Hyperelastic Properties: Application to Silicone-Rubber and Soft Tissues." Strain, v. 42, n. 3, p. 135-147, 2006.
  - [40] Ogden, R. W. "Non-Linear Elastic Deformations." Dover Publications Inc., Mineola, NY, USA, 1984.
  - [41] Lai, W. M., Rubin, D. and Krempl, E. "Introduction to Continuum Mechanics", 3rd edn. Butterworth Heinemann, 1996.
  - [42] Humphrey, J. D. "Continuum biomechanics of soft biological tissues In: Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. The Royal Society, pp. 3-46, 2003.
  - [43] Fung, Y. C. "Biomechanics- Mechanical Properties of Living Tissues", 2nd edn. Springer-Verlag Inc., New York, 1993.
  - [44] K. Miller, "Constitutive model of brain tissue suitable for finite element analysis of surgical procedures", Journal of Biomechanics., v. 32, no. 5, pp. 531-537, 1999.
  - [45] P. R. Fernandes, P. Bartolo, "Tissue Engineering: Computer Modeling, Biofabrication and Cell Behavior", vol. 31. Springer Science & Business Media, 2013.
  - [46] J. Martí, A. Oliver, J. Freixenet, R. Martí, "Digital Mammography: 10th International Workshop", Editora Springer, Institute of Informatics and Applications, University of Girona, Catalonia, Spain, vol. 6136, pp. 729, 2010.
  - [47] J. P. Pascon, "Modelos Constitutivos para Materiais Hiperelásticos: Estudo e Implementação Computacional", Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2008.
  - [48] H. O. Yeoh, "Some forms of the strain energy function for rubber", *Rubber Chemistry and Technology*, vol.46, pp. 754-771, 1993.
  - [49] K. L. Lawrence, "ANSYS Workbench Tutorial Release 14", SDC Publications, University of Texas at Arlington, pp. 1, 2012.
  - [50] V. Feijó, "Modelagem do fluxo sanguíneo na aorta abdominal utilizando interação fluido-estrutura", Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2007.
  - [51] RIBEIRO, J. E. et al. "Determinação do campo de deslocamentos de tecidos biológicos hiper-elásticos." *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, v. 16, n. 1, pp. 39-49, 2012.



## **Controle de temperatura: comparativo entre a viabilidade da utilização de condicionadores de ar e climatizadores evaporativos**

**Gabriela Souza Reis**

Graduanda em Engenharia de Produção  
IFMG - Campus *BambuÍ*  
BambuÍ, Minas Gerais  
gabrielasouzareis@gmail.com

**Ana Carolina de Oliveira**

Graduanda em Engenharia de Produção  
IFMG - Campus *BambuÍ*  
BambuÍ, Minas Gerais  
anacarolde\_oliveira@hotmail.com

**Marcela Maria Resende**

Graduanda em Engenharia de Produção  
IFMG - Campus *BambuÍ*  
BambuÍ, Minas Gerais  
marcelaresende\_12@hotmail.com

**Calebe Giaculi Junior**

Professor do Departamento de Engenharia  
IFMG - Campus *BambuÍ*  
BambuÍ, Minas Gerais  
calebe.giaculi@ifmg.edu.br

**Bianca Ribeiro de Moura**

Graduanda em Engenharia de Produção  
IFMG - Campus *BambuÍ*  
BambuÍ, Minas Gerais  
bianca\_ribeiromoura@yahoo.com.br

**Resumo** – A exposição a altas temperaturas pode ser desfavorável à saúde e no Brasil existem normas regulamentadoras (NR) que tratam das condições de temperatura ideais para locais de trabalho. A presente análise engloba um estudo de caso feito no centro de convenções do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG – campus Bambuí), com a finalidade de minimizar o problema de altas temperaturas e, conseqüentemente, gerar um ambiente o mais agradável para comunidade acadêmica. O objetivo principal desse estudo foi a verificação entre a implantação de condicionadores de ar e climatizadores evaporativos, que dentro de análises percebeu-se que os condicionadores oferecem maior controle da temperatura, enquanto os climatizadores são a opção mais econômica e ecológica.

**Palavras-chaves**— *temperatura; controle; condicionadores de ar; climatizadores evaporativos.*

### **I. INTRODUÇÃO**

O racionamento do consumo de energia é um assunto muito discutido na atualidade e, desta forma surgem com maior frequência inovações para a economia de energia. O IBAM/Eletrobrás/Procel (2002) aponta que a utilização da energia elétrica de forma correta, tratando-a com responsabilidade e com ausência de desperdícios, é um parâmetro a ser considerado no exercício da cidadania. As

questões que devem ser implantadas nesse caso se referem a dois pontos: uso de equipamentos mais eficientes e a mudança dos hábitos.

O manual do IBAM/Eletrobrás/Procel (2002) ainda salienta que o aumento da eficiência energética e redução constante no do consumo de energia são fatores que permitirão, diante da crise energética atual, ganhar tempo para selecionar fontes de geração mais viáveis por meio de uma gama mais ampla de tecnologias. Dentro deste pensamento pode-se levar em conta, ainda, que a redução do consumo energético é, atualmente, a medida mais favorável para prevenir a destruição do meio ambiente e evitar a degradação do patrimônio natural.

Cerca de mais de duas décadas atrás o mundo viveu sua primeira crise do petróleo, momento no qual todos se mobilizaram para economizar energia elétrica. No entanto, mesmo depois de quase dobrar sua população o Brasil pouco fez em relação a este aspecto. Recentemente o país passou por uma crise energética grave devido a um longo período de

estiagem, já que sua principal fonte de energia é a proveniente de recursos hídricos.

Para WORLDBUILD citado pelo Procel Edifica (2011) a economia de energia tem se tornado uma medida imprescindível por diversos motivos. De maneira geral, a redução da demanda de energia elétrica possibilita a diminuição da necessidade de se ampliar o setor de geração de energia no país. Assim, ocorre uma redução nos custos de investimento em infraestrutura para geração de energia, além de vários benefícios quanto à diminuição de impactos ambientais.

Neste contexto, deve-se levar em conta também a situação da temperatura nos dias de hoje, em que o clima tende a ser cada vez mais quente. Segundo o G1(2013), cientistas que estudam o fenômeno do aquecimento global apontam que a temperatura do planeta pode aumentar 4,8oC neste século. Esta situação leva ao aumento da necessidade do uso de aparelhos que refrigeram o ambiente com o intuito de gerar conforto térmico para aqueles que frequentam estes locais. Estes aparelhos representam, em geral, valores significativos no gasto de energia.

## II. OBJETIVO

O presente trabalho busca fazer um comparativo entre a viabilidade da utilização de ar-condicionado tipo Split e a utilização de climatizadores evaporativos. Tendo em vista a utilização de um estudo já em curso sobre o uso dos condicionadores de ar no centro de convenções de uma instituição pública de ensino, cuja cubagem é de 4768,665m<sup>3</sup>. A importância desse estudo se dá devido a constantes reclamações de desconforto térmico dos usuários do recinto.

## III. REFERENCIAL TEÓRICO

A análise da viabilidade energética e econômica para implantação no centro de convenções de uma instituição pública tem como base o estudo comparativo entre dois equipamentos: condicionadores de ar do tipo *Split* e climatizadores evaporativos.

O primeiro objeto de estudo é o ar-condicionado, o qual é apontado como um tipo de sistema de refrigeração por expansão direta, onde o gás refrigerante troca calor

diretamente com o ar presente no ambiente. O ar-condicionado pode tanto resfriar quanto aquecer o meio em que se encontra por meio da remoção ou adição de calor. Como o calor flui da temperatura menor para a maior, o condicionador de ar modifica as propriedades do gás refrigerante num círculo selado para que o calor seja transferido de fora para dentro ou vice-versa. Os condicionadores de ar se diferenciam quanto ao tipo, eles podem ser do tipo ACJ (Ar-Condicionado de Janela), *Split system*, VRF e *self contained* (CARNEIRO et al, 2012).

Os condicionadores de ar do tipo *Split System* são os considerados neste estudo. Este tipo é composto por duas unidades separadas, sendo uma unidade externa e outra interna. Na unidade condensadora externa estão contidos o compressor e o condensador do circuito frigorígeno. Possui, ainda, um ventilador que sopra o ar para a condensação do fluido refrigerante, o qual deve ser instalado na parte externa da edificação. A unidade evaporadores interna é instalada no interior do ambiente a ser climatizado. É constituída por uma válvula de expansão, o evaporador e o filtro, ela troca calor com o ambiente assim que o ar é puxado pelo ventilador. As unidades internas podem ser encontradas em diversas formas como *hi-wall* (parede), piso teto, cassette, teto aparente ou para dutos (SILVA, 2004).



Figura 1- Refrigeração do ambiente por condicionador de ar. Fonte: Procel Edifica (2011).

O segundo ponto a ser estudado são os climatizadores evaporativos. O princípio de funcionamento dos climatizadores. O climatizador de ar possui um ventilador que força a entrada do ar presente no ambiente através de um

painel evaporativo, sobre o qual a água circula continuamente pela ação de uma eletrobomba (CARNEIRO *et al*, 2012).

O funcionamento do climatizador evaporativo é descrito na Figura 2.

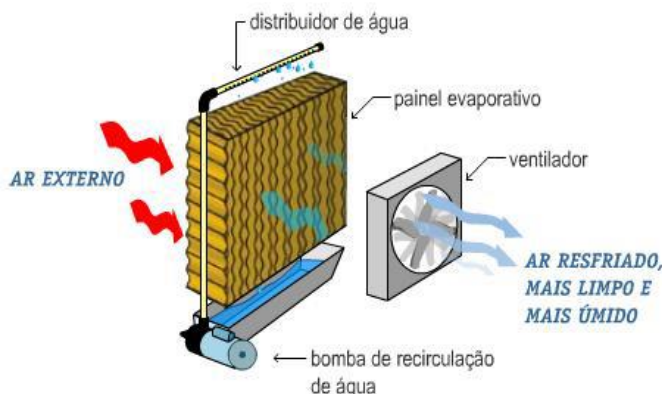


Figura 2- Funcionamento do climatizador evaporativo. Fonte: (FONSECA *et al*, 2012).

Na passagem do ar pelo painel ocorre troca de calor entre a água e o ar. A água que evapora garante que a umidade do ar no ambiente seja mais elevada e é reposta por uma boia que mantém o nível do reservatório constante. O processo de resfriamento por meio do climatizador evaporativo garante uma perda de temperatura de até 12°C. Além disso, a troca constante do ar presente no ambiente pelo ar resfriado é de extrema importância para manter as circunstâncias de conforto térmico. Isso faz com que este equipamento possa ser colocado em operação com portas e janelas abertas sem prejudicar o funcionamento do aparelho bem como o conforto térmico (FONSECA *et al*, 2012).

#### IV. METODOLOGIA

O estudo apresentado consiste num panorama comparativo entre a utilização de condicionadores de ar e climatizadores evaporativos em um centro de convenções de uma instituição educacional pública. Ele se enquadra na modalidade de pesquisa de estudo de caso. De acordo com Yin (2001) o estudo de caso representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados. Os estudos de caso mais comuns são os que têm o foco em uma unidade ou múltiplo, nos quais vários estudos são conduzidos simultaneamente.

Primeiramente os dados deste trabalho foram coletados por meio do contato com um funcionário do setor administrativo da instituição. Através desta coleta foi possível ter acesso a um estudo já realizado por um profissional da instituição sobre a quantidade necessária de condicionadores de ar tipo Split para atender a demanda do centro de convenções. Além de dados referentes ao climatizador que a instituição pretende adquirir, sendo assim este estudo foi realizado para o modelo de climatizador e questão.

Posteriormente, foram realizados cálculos para obtenção da quantidade de climatizadores evaporativos necessários para suprir as condições de conforto térmico do recinto. A partir das etapas anteriores, pôde-se fazer uma comparação do gasto de energia e custo entre os climatizadores evaporativos e os condicionadores de ar tipo Split System.

#### V. RESULTADOS

##### • Condicionadores de ar

Por meio dos dados coletados tem-se a seguinte sequência de informações apresentadas pelo estudo já realizado na instituição.

A potência da totalidade de condicionadores de ar é calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$CT=a+b+c+d+e \quad (1)$$

Onde o termo *a* se ao volume total do recinto em m<sup>3</sup> multiplicado pelo fator que expressa à localização de instalação dos condicionadores de ar, no caso, sob os telhados do recinto.

$$a=106953,22 \text{ kcal/h}$$

O termo *b* refere-se à soma da área de todas as janelas situadas na mesma parede, levando em conta que eles não possuem cortinas e que o sol incide sobre elas no período da manhã e da tarde.

$$b=14324,20 \text{ kcal/h}$$

O termo *c* é calculado multiplicando o número de pessoas que habitualmente permanecem no local pelo fator 125 kcal/(h pessoa).

$$c=33000,00 \text{ kcal/h}$$

O termo *d* se refere a portas, arcos, ou vãos que permaneçam constantemente abertos para espaços não

condicionados. É calculado somando-se as áreas destes elementos e multiplicando por 125 kcal/(h\*m²).

$$d = 3000,00 \text{ kcal/h}$$

O termo *e* se refere a aparelhos elétricos em uso no ambiente que desprendam calor. É calculado somando as potências dos aparelhos e multiplicando o valor por 0,9 kcal/(h\*watt).

$$e = 900 \text{ kcal/h.}$$

Depois de calculados os cinco termos, temos a carga térmica total em kcal/h:

$$CT = 106.953,22 + 14.324,20 + 33.000,00 + 3.000,00 + 900$$

$$CT = 158.177,42 \text{ kcal/h} \quad (2)$$

Para calcular a carga térmica em BTU/h, basta multiplicar por 4:

$$CT = 632.709,68 \text{ BTU/h.}$$

Desta forma, conclui-se que para a carga térmica em questão, o condicionador de ar será de 30.000 BTU/h, com potência ativa de 3600W e potência aparente de 4000VA, logo o fator de potência é igual a 90% . Sendo necessária a utilização de 21 condicionadores de ar do tipo *Split* para a refrigeração do recinto em questão. Considerando ainda que para a instalação desta quantidade de condicionadores de ar será necessária a instalação de um novo transformador no local, já que o existente não suporta a potência instalada.

A escolha desse modelo deu-se por ser o de maior BTU/h disponível no mercado brasileiro. Esse limitador foi responsável pela elevação do número de condicionadores de ar necessários para refrigeração.

#### • Climatizadores Evaporativos

Para o dimensionamento da vazão necessária e a quantidade de climatizadores evaporativos deve-se multiplicar a cubagem do local pela troca de ar por hora. De acordo com a Anvisa (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), a troca de ar recomendada é de 25 a 35 trocas de ar por hora.

$$D = \frac{\text{Cubagem do local} \cdot \text{Trocas de ar por hora}}{\text{Vazão do modelo escolhido}} \quad (3)$$

Onde a cubagem calculada do local foi de:

$$a = \frac{(34,76 \text{ m} + 27,85 \text{ m}) 25,5 \text{ m}}{2} 6 \text{ m} = 4789,665 \text{ m}^3 \quad (4)$$

Considerando 35 trocas de ar por hora e a vazão do climatizador escolhido de 44000 m³/h, tem-se o resultado de 3,88 ou 4 climatizadores evaporativos. Sendo a potência ativa de cada um destes equipamentos de 1471 W. O valor da potência reativa não foi possível verificar, uma vez que no catálogo do fabricante não continha essa informação e nem o representante comercial soube informar. Assim, não foi possível calcular o fator de potência de cada equipamento.

#### • Comparativo

De acordo com os cálculos, construiu-se a seguinte tabela que compara os custos relacionados com cada um dos equipamentos citados no trabalho.

Tabela 1- Custos dos equipamentos. Fonte: Autores.

	Condicionadores de ar	Climatizadores evaporativos
Quantidade necessária	21	4
Preço médio da unidade	R\$ 3.269,00	R\$ 12.497,40
Uso de outro Transformador	SIM (R\$ 12.000,00)	NÃO
CUSTO TOTAL	R\$ 80.649,00	R\$ 49.989,60

Para realização de um comparativo qualitativo entre os dois equipamentos, utilizou-se o auxílio da Tabela 2.

Tabela 2- comparativo qualitativo dos equipamentos. Fonte: (FONSECA et al, 2012).

	Condicionadores de ar	Climatizadores evaporativos
Custo	Alto	Alto
Consumo de Energia	Muito Alto	Baixo
Requisitos do ambiente	Deve ser fechado ao máximo. Trabalha com pouca renovação de ar.	Ambiente aberto com grande renovação de ar.



Efeito na temperatura	Esfria o ar de acordo com a temperatura selecionada.	Resfria o ar de acordo com a temperatura do bulbo úmido local.
Efeito na umidade	Desumidifica o ar.	Aumenta a umidade relativa do ar sem atingir saturação.
Efeito da saúde	Ar muito seco e abaixa taxa de renovação do ar. São nocivos à saúde.	Devido a grande renovação de ar, a umidificação do ar é um benefício adicional em climas muito secos.
Impactos Ambientais	O alto consumo de energia pode acarretar um pesado ônus para o meio ambiente. Quando usa um gás CFC ou HCFC são prejudiciais à camada de ozônio.	Nenhum impacto negativo.
Manutenção	Alta e especializada.	Baixa.

Fonte: (FONSECA et al, 2012).

E por fim, para um comparativo da potência total dos aparelhos para uma posterior análise do consumo energético dos equipamentos em questão, construiu-se a tabela 3:

Tabela 3- Potência dos aparelhos. Fonte: Autores.

	Condicionadores de ar (21 equipamentos)	Climatizadores evaporativos (4 equipamentos)
Potência Total	75600W	5884W

O climatizador evaporativo utiliza água, mas em pequena quantidade. Este equipamento pode, inclusive, aproveitar a água proveniente de chuvas. As informações referentes à quantidade de água gasta para manter o funcionamento do climatizador não foram repassadas.

### III. CONCLUSÃO

A utilização de condicionadores de ar para o controle de temperatura no centro de convenções da instituição demanda

alto valor de investimento, uma vez que são necessários 21 condicionadores de ar e um transformador adicional para o local, além dos equipamentos possuírem uma potência ativa maior que a do climatizador e um fator de potência inferior ao fator de potência ideal – a potência ideal é superior a 92%.

Em contrapartida, o uso dos climatizadores evaporativos representa um gasto investido menor do que a aplicação de ar-condicionado. Apesar dos primeiros terem um custo unitário maior, a quantidade demandada deste aparelho é muito inferior e a instalação dos mesmos não necessita de um novo transformador, já que o transformador existente atende as necessidades dos climatizadores a serem instalados. A viabilidade ambiental deste equipamento também é confirmada, pois sua potência ativa é muito inferior à do seu concorrente.

Contudo, o fator primordial do estudo realizado está no comparativo do consumo energético dos equipamentos onde o uso de climatizadores no local e quantidade analisada representa uma economia de 90% de energia se comparado a utilização de condicionadores de ar.

Logo, se infere que a implantação de climatizadores evaporativos se mostrou uma opção mais viável tanto economicamente como ambientalmente correta.

Vale ressaltar que é inviável o comparativo experimental dentro da instituição, uma vez que a mesma não possui recursos financeiros para o financiamento deste experimento. Dessa forma, esse trabalho serve de orientação com estimativas mais fiéis possível a realidade para escolha mais econômica e eficaz para solução do problema.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Minas Gerais-*campus* Bambuí por todo suporte dado para do desenvolvimento deste estudo de caso.

### REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.ieee.org>. Em 17/05/2017.
- [2] Brasil. Anvisa. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Norma técnica: Importância dos Projetos de Sistemas de Climatização em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde

- (EAS) Diário Oficial da União - Ministério da Saúde, Brasília, DF, Brasil, de 16/04/2009.
- [3] CARNEIRO; M.C. et al. Análise técnica e econômica de um sistema de ar condicionado com fluxo de refrigerante variável. Palmas, 2012. Disponível em: <<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/4703/2467>>. Acesso em: 13 de julho de 2016. [4] Fonseca; A.L. et al. Análise de Viabilidade Econômica da Implementação de Climatizadores Evaporativos no Ambiente Acadêmico. Disponível em: <<http://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/04/2694.pdf>>. Acesso em: 13 de julho de 16. [5] I.S. Jacobs and C.P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in *Magnetism*, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.
- [5] G1. Temperatura do planeta subirá entre 0,3 e 4,8°C no século XXI. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mundo/noticia/2013/09/temperatura-do-planeta-subira-entre-03-e-48oc-no-seculo-xxi-1.html>>. Acesso em: 13 de julho de 2016.
- [6] IBAM; ELETROBRÁS; PROCEL. Manual de prédios eficientes em energia elétrica. Rio de Janeiro; 2002.
- [7] PROCEL EDIFICA. Eficiência energética em edificações e equipamentos eletromecânicos. Rio de Janeiro; Agosto de 2011
- [8] SILVA, José C. Refrigeração Industrial e Climatização Industrial, 1 ed., Editora Hermus, 2004.
- [8] YIN R. Estudo de caso: planejamento e métodos. 2a ed. Porto Alegre: Bookman; 2001.

# Impacto Das Políticas De Responsabilidade Social E Ambiental Na Decisão De Compra Do Consumidor

*Doutor Fernando de Almeida dos Santos*  
Faculdades Metropolitanas Unidas - FMU  
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo  
São Paulo, Brasil

*Marcello de Souza Marin*  
Faculdades Metropolitanas Unidas - FMU  
São Paulo, Brasil

*Mestre Rodrigo de Souza Marin*  
Universidade Cruzeiro do Sul - UNICSUL  
São Paulo, Brasil

*Tiago Expedito Ricci*  
Universidade Cruzeiro do Sul - UNICSUL  
São Paulo, Brasil

**Resumo** - Este artigo busca estudar os fatores determinantes na intenção e no comportamento de compra dos consumidores de produtos verdes. O estudo tem por base a Teoria do Comportamento Planejado (AJZEN, 1985), que tem sido usada para explicar o comportamento e as decisões de compra dos consumidores. A metodologia aplicada no estudo foi exploratória, sendo utilizado questionário, replicado dos estudos de Brochado, Brochado e Caldeira (2015), valorado pela escala *Likert* de sete pontos todas as variáveis latentes que fazem parte do modelo foram por esse método. O estudo concluiu que das 4 hipóteses levantadas três são suportadas e uma rejeitada, as variáveis Atitude e Norma Subjetiva tem relação positiva com a intenção de compra, outro fator importante para a decisão do consumidor é a Norma Subjetiva (pressão social), que se torna a variável de maior influência percebida no estudo. O presente estudo demonstra que o consumo verde continua crescendo e esta situação harmoniza com o que o planeta necessita, uma maior consciência ambiental e, conseqüentemente, melhor meio ambiente.

**Palavras Chave:** *Comportamento do consumidor; teoria do comportamento planejado; produtos verdes; sustentabilidade.*

## I. INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade demonstra ser crescente entre os agentes da sociedade: consumidores, empresas, governos, entidades regulatórias e organizações não governamentais. Atentas a este aspecto e objetivando incrementar seu faturamento, há empresas que investem ou até direcionam sua missão para conceitos ambientalmente e socialmente responsáveis, ou seja, socioambientais.

A relevância do tema encontra amparo também nas crescentes pressões dos governos e da sociedade pela sustentabilidade, bem como pelo fato de as organizações passarem a perceber que sua perenidade depende essencialmente de sua conduta com relação ao meio no qual está inserida. (SILVA et al., 2013)

Volpentesta (2016) destaca que nos últimos anos foi intensificado o número de empresas que incorporam esforços estratégicos e operacionais relacionados com conceitos de sustentabilidade.

Surge então, a seguinte problematização de pesquisa: O consumidor considera aspectos relacionados à responsabilidade ambiental e social na sua decisão de compra? Esta pesquisa tem por objetivo replicar no Brasil, o estudo de Brochado, Brochado e Caldeira (2015), pesquisadores portugueses, que demonstram em seu artigo, os determinantes psicológicos do consumidor verde, e ocupou-se de analisar o comportamento de compra do consumidor, considerando que se dá a opção por produtos verdes.

Para realizar o trabalho, Brochado, Brochado e Caldeira (2015) fizeram uma pesquisa com uma amostra de 282 pessoas em uma empresa portuguesa, e a partir da estatística descritiva, analisaram o comportamento do consumidor verde. Calculado na TCP (Teoria do Comportamento Planejado). Esta teoria é, também conhecida por TPB (Theory of Planned Behavior) e conforme Hoppe et al. (2012), afirmam que o comportamento humano individual é uma função da intenção de comportamento. Os autores afirmam, ainda, que depende, também, de outros três quesitos: da combinação das atitudes e a influência que as crenças comportamentais exercem sobre elas; das normas subjetivas e da percepção individual sobre o comportamento percebido.

A citada pesquisa de Brochado, Brochado e Caldeira (2015), por meio da inferência estatística, concluiu que a Norma Subjetiva – a percepção individual da pressão social de agir ou não de acordo com um comportamento – tem o maior peso na atitude do consumidor verde, evidenciando o impacto do Marketing Social e, conseqüentemente da responsabilidade ambiental, na decisão de compra deste consumidor.

Da mesma forma da pesquisa anterior, os objetivos específicos são traçar um perfil do consumidor verde brasileiro e analisar, com base nas premissas da TCP, o que é mais relevante em sua decisão de compra.

Portanto, busca-se investigar a correlação entre o comportamento do consumidor verde e a intenção de compra,

e entre a última e os três construtos da TCP, a saber, a atitude, a norma subjetiva e o controle percebido (Oliveira-Brochado *et al.* 2015). As hipóteses a serem investigadas são as seguintes:

- H1. Há uma relação positiva entre a atitude e a intenção de compra verde;
- H2. Há uma relação positiva entre a norma subjetiva e a intenção de compra verde;
- H3. Há uma relação positiva entre o controle percebido e a intenção de compra verde;
- H4. Há uma relação positiva entre a intenção e o comportamento de compra verde.

Logo, o artigo delimita-se a pesquisar, conforme o modelo apresentado, se há relação entre a atitude, a norma subjetiva e o controle percebido, com o comportamento de compra verde.

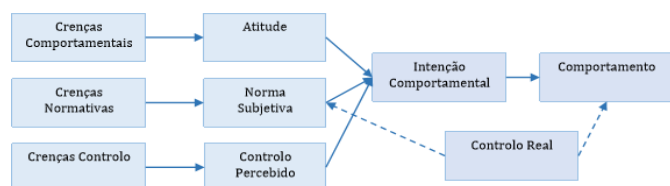
## II. TEORIA DO COMPORTAMENTO PLANEJADO

A Teoria do Comportamento Planejado foi desenvolvida pelo psicólogo social Icek Azjen em 1985 e tem sido amplamente utilizada nas ciências sociais e em pesquisas relacionadas à educação.

A TCP propõe que as intenções comportamentais podem ser caracterizadas por três construtos independentes. A Atitude em relação ao comportamento é o primeiro construto, e diz respeito à avaliação positiva ou negativa que o indivíduo faz em relação a um comportamento específico; o segundo construto é denominado Norma Subjetiva, e diz respeito à influência exercida no indivíduo por fatores externos a ele, representando a pressão exercida pela sociedade, amigos e parentes, percebida pelo indivíduo ao manifestar um determinado comportamento; o terceiro construto, denominado Controle Comportamental percebido, diz respeito à facilidade ou dificuldade do indivíduo em manifestar tal comportamento (HEIDEMANN *et al.*, 2012).

De acordo com a TCP, apresentada na figura 1, as atitudes de um indivíduo são oriundas dos seus sentimentos, e norteadas pelo conhecimento que tal indivíduo possui sobre determinado comportamento. Em outras palavras, as atitudes são determinadas pelas crenças comportamentais individuais em relação a um comportamento. As crenças, por sua vez, fazem a ligação entre o comportamento e as consequências a ele relativas.

**Figura 1 – Teoria do Comportamento Planejado - Fonte: Brochado, Brochado e Caldeira (2015).**



A partir das crenças, o indivíduo associa um comportamento às avaliações positivas ou negativas. Durante a vida, o indivíduo poderá alterar suas crenças de acordo com as informações que absorverá de fontes externas, dependendo de sua aceitação ou rejeição, podendo algumas persistirem e outras desaparecerem. (HEIDEMANN *et al.*, 2012).

De acordo com suas crenças, o indivíduo desenvolve a habilidade de avaliar positivamente comportamentos que o tragam consequências desejáveis, e avaliar negativamente comportamentos que lhe proporcionem, segundo sua percepção, consequências indesejáveis. As crenças normativas estão relacionadas diretamente à norma subjetiva, demonstrando o grau de confiança do indivíduo em um determinado grupo do qual faça parte, à medida que tal grupo pode aprovar ou desaprovar determinado comportamento seu. O controle percebido pode ser oriundo de uma experiência anterior ao comportamento propriamente dito, vivenciada pelo próprio indivíduo ou repassada a este por informações advindas de terceiros ou de outros elementos, atuando de maneira a facilitar ou dificultar a manifestação do comportamento em questão. (HEIDEMANN *et al.*, 2012).

A TCP sugere que o comportamento humano pode ser explicado e previsto em contextos específicos com base na intenção individual de cometer comportamento, juntamente com as percepções individuais do controle pessoal sobre a realização desse comportamento. (FOLTZ, NEWKIRK e SCHWAGER, 2016).

Para a TCP a intenção comportamental é o determinante imediato de comportamento, isto determina a atitude comportamental é com base na intenção que determinamos três conceitos psicológicos, essas três variáveis são baseados respectivamente nas crenças comportamentais, normativa e controle mas existem fatores que podem limitar a disponibilidade de indivíduos cerca de uma maneira particular. (DURÁN, RODRIGUES e FERRACES, 2016).

Outro pressuposto importante da teoria do comportamento planejado baseia-se na racionalidade dos indivíduos, que embasa duas decisões. Considerando as informações disponíveis, o indivíduo pode avaliar as implicações da decisão tomada. Portanto, a partir das decisões racionais, o indivíduo consegue mensurar as implicações favoráveis e desfavoráveis relacionadas a determinado comportamento (PINTO, 2007).

O comportamento humano tem base em três fundamentos específicos, as crenças comportamentais, crenças normativas e crenças sobre o controle. Estas três crenças em conjunto vão determinar a norma subjetiva por trás das compras. Podemos destacar também as crenças de controle que podem facilitar ou impedir o desempenho do comportamento (HOPPE *et al.*, 2012).

Esta rápida revisão da Teoria do Comportamento Planejado dá suporte para a pesquisa em relação ao comportamento de consumo e do consumidor verde.

## III. RESPONSABILIDADE SOCIOAMBIENTAL

No mundo empresarial hoje está muito disseminado a questão socioambiental, para as empresas estarem competitivas, a sustentabilidade e a adoção de políticas ambientais fazem parte desta estratégia. (Jabbour, Teixeira, Jabbour & Freitas, 2012).

As empresas estão concluindo que podem melhorar sua imagem junto a sociedade a partir de processos socialmente e ambientalmente sustentáveis, essas empresas aparentam perante a sociedade serem mais éticas o que demonstra ser um

grande diferencial, o reconhecimento dos consumidores e colaboradores faz com que as empresas apresentem melhoras no seu diferencial competitivo e atinja maiores níveis de sucesso. (SABONARO, SABONARO, SABONARO, GOMES DA SILVA e ANGRIZANI DE OLIVEIRA 2017).

As medidas e estratégias ambientais são importantes, na América Latina, dado que uma boa parte da atividade produtiva está relacionada a setores e atividades de elevada sensibilidade ambiental, que envolvem extração de recursos naturais ou têm um alto consumo de energia. (BENITES LÁZARO e GREMAUD 2016)

Prioridades competitivas devem nortear as estratégias de operações das empresas, e vê-se que empresas tem priorizado meio ambiente e segurança do trabalho como diferenciais estratégicos (SCUR e HEINZ 2016)

A responsabilidade socioambiental deve estar inserida dentro das companhias como forma de ser um diferencial estratégico e competitivo e tornar esse processo de responsabilidade perene e sadio.

#### IV.METODOLOGIA

A metodologia adotada, adaptada de Oliveira-Brochado, Brochado e Caldeira (2015), constitui-se em uma pesquisa exploratória de campo, baseada na análise estatística de dados coletados por meio do mesmo questionário utilizado pelos autores do estudo original, aplicado a uma amostra, não aleatória, feita por conveniência (MALHOTRA, 2010).

Assim, o presente estudo se valerá da mesma metodologia do artigo citado de modo a replicar no Brasil a mesma pesquisa feita em Portugal. Foi aplicado, portanto questionário acompanhado pela escala de *Likert* de sete pontos.

##### A. DESENVOLVIMENTO DO QUESTIONÁRIO

A pesquisa foi baseada em um questionário com três grandes blocos de perguntas. O primeiro fez o levantamento demográfico e socioeconômico da amostra. O segundo consiste no levantamento do comportamento do entrevistado em relação ao consumo de produtos verdes. Para tanto, será aplicado o questionário que se encontra no quadro 2. O terceiro bloco de perguntas é baseado em construtos para analisar o comportamento do consumidor verde a partir da Teoria do Comportamento Planejado conforme quadro 1.

**Quadro 1 - Construtos utilizados para analisar o consumidor a partir da TCP - Fonte: Brochado, Brochado e Caldeira. (2015).**

Variável		Item
Atitude	A compra de produtos verdes relativamente à proteção do meio ambiente	É benéfica
		É válida
		Faz sentido
		É agradável
		Dá-me prazer
Norma subjetiva	As pessoas que me são próximas, amigos, familiares e colegas	Consideram que a compra de produtos verdes é desejável
		Acham que devo comprar produtos verdes
		Aprovariam se eu comprasse produtos verdes
		Também compram produtos verdes
Controle percebido	Relativamente à compra de produtos verdes	Sou capaz de comprar produtos verdes
		Se realmente quisesse poderia comprar produtos verdes
		Sou eu que decido se compro produtos verdes
		Demoro pouco tempo a encontrar produtos verdes
		É fácil encontrar produtos verdes
Intenção de compra de produtos verdes		No próximo mês, vou considerar comprar produtos verdes por serem menos poluentes
		No próximo mês, vou considerar mudar para outras marcas amigas do ambiente
		No próximo mês, planejo mudar para uma versão verde de um produto
Comportamento de compra de produtos verdes		Com que frequência comprou produtos verdes no último mês
		Gastos em produtos verdes no último mês
		Produtos verdes comprados no último mês

Todas as variáveis latentes que fazem parte do modelo foram medidas por meio de escala Likert de sete pontos. Para as variáveis atitude, norma subjetiva e comportamento foram apontados valores mínimos de 1 e máximos de 7, onde 1 corresponde à categoria “discordo totalmente” e 7 à categoria concordo totalmente. Os valores 1 (mínimo) e 7 (máximo). Em relação ao comportamento de compra de produtos verdes as categorias “nunca” e “sempre” representam respectivamente os valores mínimos e máximos para a frequência de compra. As categorias “nada” e “muito” foram usadas para determinar os gastos com produtos verdes. Para o número de produtos adquiridos, foram usados os valores “0” e “mais que 10” para o número de produtos adquiridos (BROCHADO; BROCHADO; CALDEIRA, 2015).

##### B. PROCESSO DE AMOSTRAGEM E MÉTODOS ESTATÍSTICOS

A descrição estatística do perfil dos inquiridos foi realizada através de tabelas de frequência e estatísticas descritivas, como média, desvio padrão, mediana e moda. Utilizou-se análise fatorial, seguida da abordagem de equações estruturais para testar as relações entre as variáveis e testar as hipóteses descritas (Kline, 1994; Hair, Tatham, Anderson & Black, 2009; Beaujean, 2014). Todas as análises foram realizadas através de scripts no software R, versão 3.3.1 (R Core Team, 2016) e utilizando os pacotes "psych" (Revelle, 2016), "lavaan" (Rosseel, 2012) e "semPlot" (Epskamp, 2014).

#### V.ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

##### A. PERFIL DEMOGRÁFICO E SOCIOECONÔMICO

A pesquisa, realizada por meio de formulário online cuja amostra da pesquisa foi de cento e quarenta e cinco pessoas, sendo 59% do gênero feminino e 41% do gênero masculino. A idade média dos entrevistados foi 34 anos. Quanto à

escolaridade dos respondentes, 86% possuíam nível superior, 13% possuíam ensino médio e 1% nível fundamental. Em relação à renda, 70% das pessoas que responderam possuíam rendimentos acima de três salários-mínimos, 11% entre dois e três salários-mínimos, 11% entre um e dois salários-mínimos e 8% percebiam valores abaixo de um salário-mínimo. Em relação ao estado civil, 54% eram casados, 40% solteiros, 5% divorciados e 1% viúvos, conforme a tabela 1

**Tabela 1 - Perfil demográfico e socioeconômico dos inquiridos (N = 145) - Fonte: dados da pesquisa, 2017.**

Variável	Categorias	Frequência		Moda	Média	Desvio padrão
		Absoluta	Relativa			
Sexo	Masculino	60	0.41			
	Feminino	85	0.59	X		
Idade				34	34.53	8.99
Escolaridade	Ensino Fundamental	2	0.01			
	Ensino Médio	19	0.13			
	Ensino Superior	124	0.86	X		
Renda	<R\$ 880,00	12	0.08			
	R\$ 880,01-R\$ 1760,00	15	0.1			
	R\$ 1760,01-R\$2640,00	16	0.11			
	>R\$ 2640,00	102	0.7	X		
Estado Civil	Casado	78	0.54	X		
	Solteiro	58	0.4			
	Divorciado	7	0.05			
	Viúvo	2	0.01			

#### B. COMPORTAMENTO VERDE E OS SEUS DETERMINANTES

Em relação ao comportamento de consumo de produtos verdes, a maior frequência está em lâmpadas econômicas (44%) e produtos eletrodomésticos Classe A (40%). Em contrapartida, celulares e carros ecológicos obtiveram frequência igual à zero, apresentada na tabela 2.

**Tabela 2 - Frequência de compra de produtos verdes nos últimos 3 meses - Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.**

Produto Verde	Nunca (1)		Poucas vezes (2)		Algumas vezes (3)		Muitas vezes (4)		Sempre (5)		Moda	Mediana
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%		
Papel reciclado	43	0.09	51	0.13	28	0.13	14	0.09	9	0.05	2	2
Produtos em embalagens recicladas	23	0.05	53	0.22	49	0.11	17	0.11	3	0.02	2	2
Lâmpadas econômicas	5	0.01	8	0.08	18	0.08	35	0.22	79	0.44	5	5
Eletrodomésticos Classe A	11	0.02	13	0.1	21	0.1	29	0.19	71	0.4	5	4
Roupas feitas com materiais reaproveitados	88	0.19	40	0.07	15	0.07	2	0.01	0	0	1	1
Cellular ecológico	125	0.27	13	0.01	3	0.01	4	0.03	0	0	1	1
Carros ecológicos	116	0.25	12	0.05	10	0.05	6	0.04	1	0.01	1	1
Material de escritório ecológico	41	0.09	57	0.15	33	0.15	12	0.08	2	0.01	2	2
Produtos biodegradáveis	18	0.04	33	0.2	43	0.2	37	0.24	14	0.08	3	3

Em relação aos determinantes de intenção de comportamento verde, verifica-se que grande parte dos entrevistados acha benéfica a atitude de consumir produtos verdes, a exemplo do artigo de Brochado; Brochado e Caldeira (2015). Da mesma forma, a norma subjetiva aponta para aprovação do consumo verde por parte de pessoas próximas aos que responderam ao formulário. Em relação à capacidade de comprar produtos verdes (constructo do controle percebido), os entrevistados são capazes de tomar a decisão de consumir produtos verdes, conforme apresentado na tabela 3 que foi replicada do artigo de (BROCHADO; BROCHADO; CALDEIRA, 2015)

**Tabela 3 - Determinantes de intenção de comportamento e de comportamento verde - Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.**

Variável	Item	Média	DP
Atitude	A compra de produtos verdes relativamente à proteção do meio ambiente	É benéfica	6.37 0.92
		É válida	6.36 0.99
		É agradável	6.12 1.03
		Me faz sentir bem	6.21 1.14
Norma subjetiva	As pessoas próximas a mim	Consideram que a compra de produtos verdes é desejável	5.1 1.52
		Acham que devo comprar produtos verdes	4.56 1.62
		Aprovariam se eu comprasse produtos verdes	5.6 1.43
		Também compram produtos verdes	4.23 1.6
Controle percebido	Em relação à compra de produtos verdes	Posso comprar produtos verdes	5.32 1.39
		Sou eu quem decide sobre a compra de produtos verdes	5.35 1.64
		Demoro pouco tempo a encontrar produtos verdes	3.98 1.88
		É fácil encontrar produtos verdes	3.35 1.67
Intenção de compra de produtos verdes		No próximo mês, vou considerar comprar produtos verdes por serem menos poluentes	5.12 1.43
		No próximo mês, vou considerar mudar para outras marcas amigas do ambiente	5.12 1.46
		No próximo mês planejo mudar para uma versão verde de um produto	4.83 1.6
		Com que frequência comprou produtos verdes no último mês	3.79 1.6
Comportamento de Compra		Gastos em produtos verdes no último mês	3.71 1.64
		Produtos verdes comprados no último mês	3.65 1.63

#### C. ANÁLISE FATORIAL

A análise fatorial foi replicada do artigo de Brochado, Brochado e Caldeira (2015), conforme segue:

De forma a selecionar os itens finais a utilizar na estimação do modelo confirmatório utilizaram-se duas técnicas: a primeira, a análise fatorial exploratória usando o método das componentes principais com rotação varimax, que é realizada a todos os itens dos construtos no sentido de se verificar, para a realidade em causa, se faz sentido manter a escala sem nenhum tipo de ajustamento e para verificar se existe correlação entre as variáveis confirmando a sua aplicação. A segunda, a análise do coeficiente Alpha de Cronbach, que avalia a fiabilidade na vertente consistência interna dos itens. Os valores da estatística Kaiser-MeyerOlkin (KMO) e os resultados do Teste de Bartlett para cada constructo revelaram a adequação da análise fatorial, conforme apresentado na tabela 4.

**Tabela 4 - KMO e Teste de Bartlett - Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.**

	KMO	Teste de Bartlett
Atitude	0.77	302.19***
Norma subjetiva	0.82	278.89***
Controlo percebido	0.65	072.11***
Intenção de compra de produtos verdes	0.7	317.99***
Comportamento de Compra	0.76	382.24***



Adicionalmente, na tabela 5 são apresentados os pesos fatoriais obtidos com as análises fatoriais exploratórias realizadas e os coeficientes Alpha de Cronbach que relevaram fiabilidade adequada dos itens selecionados para integrar o modelo em estudo.

**Tabela 5 - Análise fatorial exploratória e coeficiente alfa de Cronbach - Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.**

Variável	Item	Peso fatorial	Variância explicada	Valor próprio	Alpha de Cronbach
		F1			
Atitude	A compra de produtos verdes relativamente à proteção do meio ambiente	É benéfica	62%	2.48	0.86
		É válida			
		É agradável			
		Me faz sentir bem			
Norma subjetiva	As pessoas próximas a mim	Consideram que a compra de produtos verdes é desejável	63%	2.51	0.87
		Acham que devo comprar produtos verdes			
		Aprovam se eu comprasse produtos verdes			
		Também compram produtos verdes			
Controle percebido	Em relação à compra de produtos verdes	Posso comprar produtos verdes	31%	1.25	0.62
		Sou eu quem decide sobre a compra de produtos verdes			
		Demoro pouco tempo a encontrar produtos verdes			
		É fácil encontrar produtos verdes			
Intenção de compra de produtos verdes		No próximo mês, vou considerar comprar produtos verdes por serem menos poluentes	78%	2.34	0.91
		No próximo mês, vou considerar mudar para outras marcas amigas do ambiente			
		No próximo mês planejo mudar para uma versão verde de um produto			
Comportamento de Compra		Com que frequência comprou produtos verdes no último mês	83%	2.5	0.94
		Gastos em produtos verdes no último mês			
		Produtos verdes comprados no último mês			

#### D. MODELO DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS

Após a análise da qualidade do ajustamento, o modelo estrutural proposto foi estimado para verificar se as hipóteses da pesquisa são suportadas ou não. Nesta estimação pôde-se perceber que as hipóteses relacionadas à Atitude (intenção de comportamento verde), Norma Subjetiva e Intenção de Comportamento Verde foram suportadas. Observou-se, porém, que a hipótese Controle Percebido foi rejeitada. Deste modo, neste modelo, a variável Controle Percebido, não tem relação positiva com a Intenção de Comportamento Verde, conforme tabela 6.

**Tabela 6 - Modelo estrutural estimado - Fonte: Dados da Pesquisa, 2017.**

Hipóteses	Estimativa	Valor p	Conclusão
H1: Atitude -> Intenção de comportamento verde (+)	0.412	0.006*	Suportada
H2: Norma subjetiva -> Intenção de comportamento verde (+)	0.41	0.003*	Suportada
H3: Controle percebido -> Intenção de comportamento verde (+)	0.376	0.115	Rejeitada
H4: Intenção de comportamento verde -> Comportamento verde (+)	0.643	0.000*	Suportada
<b>Indicadores do ajuste</b>			
$\chi^2/gi$	2.096		
RMSEA	0.087		
GFI	0.829		
% variância explicada do comportamento verde	34.80%		
* Estatisticamente significativa a 1%; ** estatisticamente significativa a 5%.			

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo tem o objetivo de analisar a intenção de comportamento verde, baseado na Teoria do Comportamento Planejado, por meio de um questionário na forma de formulário online, divulgado em mídias sociais e respondido por cento e quarenta e cinco pessoas não aleatória, feita por conveniência.

Com base na amostra apresentada, considera-se que das quatro hipóteses testadas, três são suportadas e uma rejeitada. As variáveis Atitude e Norma Subjetiva têm relação positiva com a intenção de compra e, portanto, exercem influência na intenção de compra de produtos verdes por parte dos consumidores. A intenção de compra tem relação positiva com o comportamento verde, de modo que a Norma Subjetiva e a Atitude influenciam no comportamento verde dos consumidores. No entanto, diferentemente do que aconteceu no teste realizado por Brochado, Brochado e Caldeira (2015), o Controle Percebido não apresentou influência na intenção de comportamento verde.

A exemplo do que ocorreu no teste de Brochado, Brochado e Caldeira (2015), a variável Atitude é explicativa na intenção de comportamento verde do consumidor, mas o maior peso na decisão de compra está associado à variável Norma Subjetiva. A Teoria do Comportamento Planejado revela-se importante instrumento de análise do comportamento do consumidor verde, e muito embora este teste tenha rejeitado o Controle Percebido, as variáveis de maior explicação do modelo, a saber, atitude e norma subjetiva, podem ser trabalhadas com objetivo de mudança no comportamento dos indivíduos por meio de propagação de conhecimento através de marketing social de empresas e governos. De acordo com o modelo, a Norma Subjetiva (pressão social) é a variável de maior influência na intenção de comportamento verde, de maneira que o encorajamento do público para o consumo de produtos verdes pode ser eficiente por meio de programas de conscientização social.

Por meio destas considerações é possível as empresas traçarem estratégias novas ou ampliem as atuais, com ações efetivas, voltadas aos aspectos de responsabilidade social ou ambiental, ampliando seu mercado e contribuindo para a sustentabilidade

Salienta-se que este estudo é limitado, uma vez que foi respondido por um determinado segmento de usuários das redes sociais, não tendo sido consideradas diferenças regionais, ambientais e geográficas. Ainda que o estudo apresente em sua estatística descritiva uma certa heterogeneidade, esta não é suficiente para determinar o comportamento verde dos consumidores em nível nacional. Outro aspecto que deve ser considerado é o fato da pesquisa não ser conclusiva, pois além das diferenças citadas, a amostra não foi significativa.

Como proposta de trabalhos futuros, sugere-se ampliação da amostra e/ou aplicação em outros países. Sugere-se, ainda, identificar se há setores que tenham mais aceitação dos clientes ou vocação institucional para atuações com propostas sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: A theory of planned behavior. Em J. Kuhl & J. Beckmann (Orgs.), *Action Control: From Cognition to Behavior* - Springer-Verlag: Berlim.
- Beaujean, A. A. (2014). *Latent Variable Modeling Using R: A Step-by-Step Guide*. Routledge, New York.
- Brochado, F. O.; Brochado, A. O.; Caldeira, T. (2015). Os determinantes psicológicos do consumidor verde. *Tourism & Management Studies*, v. 11, n. 2, p. 104-111.
- Hair, J. F., Tatham, R. L., Anderson, R. E., & Black, W. (2009) *Multivariate data analysis: A global perspective*. 7th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Foltz, C. Bryan; Newkirk, Henry E.; Schwager, Paul H.; (2016). An Empirical Investigation of Factors that Influence Individual Behavior toward Changing Social Networking Security Settings. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, Mayo-Sin mes, 1-15. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=96546297002>
- Heidemann, L.A. et al. (2012). Um referencial teórico-metodológico para o desenvolvimento de pesquisas sobre atitude: a Teoria do Comportamento Planejado de Icek Ajzen. In *Revista Electrónica de Investigación em Educación em Ciencias*. v. 7 n. 1. p 22-26. Julho de 2012. Porto Alegre.
- Hoppe, A., Barcellos, Marcia Dutra de, Vieira, Luciana Marques, Matos, Celso Augusto .de (2012). Comportamento do Consumidor de Produtos Orgânicos: Uma aplicação da Teoria do Comportamento Planejado. *Revista Base (Administração e Contabilidade) da UNISINOS*. 9 (Abril-Junho) Porto Alegre. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337228650006>
- Kline, P. (1994.) *An easy guide to factor analysis*. Routledge, New York.
- Durán, Mar; Rodríguez, Mauro; Ferraces, María-José; Río, Adhara; Sabucedo, José-Manuel; (2016). Determinantes del mantenimiento del consumo de tabaco: extensión de la Teoría de la Conducta Planificada. *Terapia Psicológica*, 15-22. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78546598002>
- Malhotra, N. (2011). *Pesquisa de Marketing*. 6 Ed. 768 p. São Paulo. Bookman.
- Pinto, M.R. A (2007). Teoria do Comportamento Planejado (TCP) e o Índice de Disposição de Adoção de Produtos e Serviços Baseados em Tecnologia (TRI): Uma Interface Possível?. In *Revista Gestão e Tecnologia* v. 7 n. 2, p 1-13. Ago/Dez de 2007. Pedro Leopoldo.
- R Core Team. *R: A* (20016). language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.
- Revelle, W. (2016). *psych: Procedures for Personality and Psychological Research*, Northwestern University, Evanston,
- Romeiro, M. D. C.; Campomar, M. C. (2006) Um estudo sobre o comportamento de compra do consumidor ambientalmente favorável: Uma verificação na região do ABC Paulista. 358 f. Tese (Doutorado em Administração) Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rosseel, Y. (2013). lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1-36. URL: <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>. 2012.
- Silva, M. (2013) et al. Um espelho, um reflexo! A educação para a sustentabilidade como subsídio para uma tomada de decisão consciente do administrador. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 6776, n. 14, p. 154-182, 2013. URL: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712013000300007>
- Volpentesta, Jorge Roberto, (2016). Tendencia y perspectivas de la reponsabilidade social empresaria. *Revista Científica "Visión de Futuro"* URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357947335006>
- Jabbour, Charbel José Chiapetta, Teixeira, Adriano Alves, Jabbour, Ana Beatriz Lopes de Sousa, & Freitas, Wesley Ricardo de Souza. (2012). "Verdes e competitivas?": a influência da gestão ambiental no desempenho operacional de empresas brasileiras. *Ambiente & Sociedade*, 15(2), 151-172 URL: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2012000200009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2012000200009)
- Zumkeller Sabonaro, Débora; Zumkeller Sabonaro, Cleber; Zumkeller Sabonaro, Margareth; Gomes da Silva, Fabio Augusto; Angrizani de Oliveira, Renan; (2017). A Incorporação da Gestão Socioambiental na Estratégia Competitiva. Um Estudo de Caso no Setor Sucroalcooleiro. *Desenvolvimento em Questão*, Enero-Marzo, 319-342. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75250380012>
- Benites Lázaro, Lira Luz; Gremaud, Amaury Patrick; (2016). A RESPONSABILIDADE SOCIAL EMPRESARIAL E SUSTENTABILIDADE NA AMÉRICA LATINA: BRASIL E MÉXICO. *Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria*, Enero-Marzo, 138-155. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273445396009>
- Scur, Gabriela; Heinz, Guilherme; (2016). A dimensão ambiental no contexto da estratégia de operações de montadoras do ABC paulista. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, Abril-Junio, 290-304. URL: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94746409007>

# Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Alegria – Medianeira – PR

Thaís Helena Leite Nogueira

Dep. acadêmico de ciências biológicas e Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
Thais\_helenas@live.com

Vanio Faquin

Dep. acadêmico de ciências biológicas e Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
vaniofaquin@hotmail.com

Fábio Luiz Fronza

Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
f-l-f@hotmail.com

Elias Lira dos Santos Júnior

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Toledo, Brasil  
eliasjunior@utfpr.edu.br

Mateus Mestriner Pituco

Escola Superior Agrária  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
mateuspituco@gmail.com

**Resumo**— Levando-se em consideração a importância das matas ciliares e as legislações atuais que protegem estas áreas da degradação, o objetivo do presente estudo foi caracterizar física e morfolologicamente a Bacia do Rio Alegria, em Medianeira –PR (Brasil), além de mapear as Áreas de Preservação Permanente referentes à mata ciliar ao longo dos cursos d'água na região do Alto Alegria. Utilizou-se o software Quantum GIS para extrair os parâmetros morfométricos e elaborar os mapas de caracterização física e o software Google Earth para os estudos sobre a mata ciliar. Pode-se aferir então que a área de estudo possui uma baixa tendência à inundações devido ao seu formato alongado, porém com capacidade de drenagem insuficiente. O uso e ocupação do solo no local é predominantemente na bacia é o uso agropecuário, sendo que este conflita com as áreas definidas por lei para preservação da mata ciliar. Na porção antropizada da bacia, a mata ciliar encontra-se desfalcada, porém a existência do Parque Ambiental Frimesa, corrobora para a preservação do Rio Alegria.

**Palavras-chave**— Áreas de Preservação Permanente; Morfologia; Uso e ocupação do solo; Sensoriamento Remoto.

## I. INTRODUÇÃO

Para o gerenciamento de uma bacia hidrográfica, se torna imprescindível o conhecimento de suas características físicas, bem como, as diversas formas de uso e ocupação da terra, que podem afetar os recursos naturais, principalmente quanto as fragilidades da zona de mata ciliar.

A Bacia Hidrográfica do Rio Alegria encontra-se totalmente inserida no município de Medianeira, no estado do Paraná - Brasil, o qual se utiliza desse corpo hídrico como fonte de abastecimento municipal (Fig.5).

O uso e ocupação do solo de maior destaque no município é o uso agropecuário. Avaliando-se a região do Alto Alegria

pode-se perceber que este uso é conflitivo, visto que as áreas estabelecidas pela legislação como Áreas de Preservação Permanente referentes à mata ciliar não apresentam-se integralmente preservadas, perdendo espaço assim para a atividade agropecuária.

De maneira geral, têm-se os recursos hídricos superficiais na região da cabeceira da Bacia do Rio Alegria e em porção da área urbana encontra-se pouco conservada quanto a vegetação que circunda os corpos hídricos.

As matas ciliares atuam como reguladoras do regime hídrico devido da retenção da água da chuva e infiltração no lençol freático. Opera como reguladora dos fluxos de água superficiais e subsuperficiais [1]. Além disso, a vegetação no entorno dos recursos hídricos corrobora para a garantia da qualidade da água, evita que resíduos e esgotos sejam despejados nos mesmos e que agrotóxicos das lavouras sejam levados para os rios [2].

Desta forma a investigação da presença de cobertura vegetal nas margens dos recursos hídricos, na Bacia do Rio Alegria se torna de suma importância, pois esta bacia corta o município como um todo, recebendo influências da ação antrópica tanto na zona rural pelos cultivos agrícolas, como na zona urbana, surgindo assim a preocupação em monitorar a cobertura vegetal remanescente nas áreas de mata ciliar.

A Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, Código Florestal Brasileiro, estabelece as matas ciliares como uma Área de Preservação Permanente (APPs): Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a biodiversidade, o fluxo gênico que compreende a fauna e a flora bem como a proteção do solo ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, além de assegurar o bem-estar das populações humanas [3]. As principais

nomenclaturas utilizadas pela literatura para denominar formações florestais que se desenvolvem as margens dos cursos d'água: mata ciliar, mata galeria, mata de várzea, vegetação ou floresta ripária [4].

Prioriza-se pela manutenção das formações vegetais localizada nas margens dos rios, córregos, lagos, represas e nascentes devido a sua fragilidade ecológica e suas funções ambientais como preservar a qualidade das águas, do solo e de toda a biota nativa destes locais [5]. Quanto à preservação das matas ciliares, enquanto APPs, a Resolução CONAMA nº 303 de 2002 [6] estabelece a faixa mínima em metros a ser preservada.

A presença de vegetação ao entorno dos cursos hídricos reduz a velocidade de escoamento das águas das chuvas, liberando-as gradativamente para o lençol freático e corpo hídrico. Deste modo, a mata ciliar atua evitando episódios de inundações e deslizamentos, prejudiciais principalmente em áreas urbanizadas [7].

Diversos estudos propõem a utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo e de planejamento, pois ela integra elementos dos subsistemas, natural, construído, socioeconômico cultural e produtivo, que se interagem entre si e com seu entorno, podendo ser analisado de forma quantitativa.

Deste modo o objetivo do presente estudo consistiu em realizar a caracterização fisiográfica da Bacia do Rio Alegria, bem como, a avaliação das áreas de preservação permanente referentes à mata ciliar ao longo dos cursos d'água, levando em consideração a Resolução CONAMA nº. 303/2002.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Área de Estudo

Realizou-se o presente estudo na Bacia do Rio Alegria, localizada no município de Medianeira, região oeste do estado do Paraná-Brasil.

O Rio Alegria possui e sua nascente na linha São Miguel Arcanjo na zona rural do município. Caracterizado como um dos tributários do Rio Ocoy, próximo ao lago de Itaipu e esta contida na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná III [8].

O trecho compreendido entre a nascente do Rio Alegria até a estação de tratamento de água da SANEPAR no perímetro urbano do município, contemplando-se as sangas que desaguam no rio é denominado Alto Alegria, região da cabeceira da bacia.

Segundo os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, o Rio Alegria, manancial de abastecimento do município de Medianeira é classificado como classe 2 enquadrando-se na utilização de abastecimento após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas e recreação de contato primário [9].

O clima na região definido como Cfa - Clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes, geadas pouco frequentes, com tendência de concentração de chuvas nos meses de verão [10].

Quanto à formação vegetal da área de estudo, segundo o Mapa fitogeográfico do estado do Paraná [11] na Bacia do Rio Alegria apresenta-se a Floresta Estacional Semidecidual, bem como em toda região oeste do estado do Paraná e nos vales dos rios formadores da bacia do Rio Paraná, abaixo dos 800 metros de altitude [12]. Este tipo de vegetação está condicionada a um período de baixa precipitação pluviométrica, quando 20 a 50% das árvores do dossel da floresta perdem suas folhas, modificando fortemente a sua fisionomia [12] ocorrendo assim a semidecidualidade, na estação desfavorável, devido a acentuada variação térmica [13].

### B. Caracterização da Bacia

Para confecção do material cartográfico utilizou-se o software Quantum Gis 2.18, no qual desenvolveu-se um banco de dados georreferenciado, utilizando-se informações planimétricas e altimétricas para obter a delimitação da Bacia do Rio Alegria e rede de drenagem, para fins de caracterização morfométrica e física do perímetro estudado.

1) *Caracterização morfológica*: de posse da delimitação da bacia, pode-se extrair as feições utilizados para caracterização morfométrica: área (A), perímetro (P), comprimento axial da bacia (Lx) e comprimento total dos canais (Lt).

a) *Coefficiente de compacidade (Kc)*: relaciona a forma da bacia com um círculo por meio da relação apresentada na Equação (1). Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo próximo a 1,0 corresponde a uma bacia circular, mais suscetível a enchentes acentuadas e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1 [14].

$$Kc = 0,28.(P/\sqrt{A}) \quad (1)$$

b) *Fator de forma (Kf)*: é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo do espigão), calculado pela Equação (2). Uma bacia com fator de forma baixo indica que a mesma é menos sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior [14].

$$Kf = A / Lx^2 \quad (2)$$

c) *Índice de circularidade (Ic)*: O Ic tende para a unidade medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna-se alongada. Esta relação é dada pela Equação (3). Assim, Ic=0,51 representa um nível moderado de escoamento, não contribuindo na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas. Valores maiores que 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas) [15].

$$Ic = 12,57.(A/P^2) \quad (3)$$

d) *Densidade de drenagem (Dd)*: é o resultado da divisão entre o comprimento total dos cursos d'água pela área da bacia, dada pela Equação (4). Esse índice pode variar de 0,5 km.km² em bacias com drenagem pobre a 3,5 km.km² ou mais em bacias bem drenadas [14].

$$Dd = Lt/A \quad (4)$$

2) *Caracterização física*: Utilizando-se o software Quantum GIS obteve-se ainda mapas referentes à:

a) *Declividade*: para obter-se uma caracterização quanto as elevações do terreno, visto que áreas com inclinações elevadas também são passíveis de preservação da vegetação.

b) *Hipsometria*: podendo-se visualizar por uma escala de cores atribuídas, a representação da elevação do terreno.

c) *Uso e ocupação do solo*: utilizando-se a metodologia de classificação manual, parcelou-se o território da Bacia do Rio Alegria em: Área Antropizada/Urbana, Remanescente vegetal e Agropecuária.

### C. Avaliação da Mata Ciliar

Realizou-se avaliação do enquadramento da mata ciliar na legislação, quanto à faixa marginal mínima a ser preservada na região do Alto Alegria e na Área Antropizada/Urbana identificada no mapa de uso e ocupação do solo. A mata ciliar presente em ambas as regiões da bacia são áreas de importância socioeconômica e ambiental. Visto que, a mata ciliar no Alto Alegria possui a função de resguardar a qualidade da água utilizada para abastecimento no município, frente à potencial contaminação de insumos agrícolas aplicados na região. Já no que se refere à área antropizada/urbana, a vegetação ao entorno do Rio Alegria possui um papel importante quanto referente ao escoamento e drenagem de águas pluviais, evitando assim inundações.

Desta forma, procedeu-se a aferição métrica da faixa marginal de vegetação existente ao longo dos cursos dos recursos hídricos no Alto Alegria, utilizando-se o software Google Earth. Comparou-se assim, o resultado obtido com a faixa marginal mínima exigida pela legislação (Resolução CONAMA nº. 303/2002): 50 metros de raio ao longo das áreas das nascentes e 30 metros de cada lado ao longo do leito da rede de drenagem, visto que o Rio Alegria é um curso hídrico com largura inferior a 10 metros.

No Alto Alegria, destacou-se 19 pontos de amostragem no leito principal, a partir da nascente, com uma distância de 250 metros entre si. Nas sangas as distâncias dos pontos de amostragem foram de 500 metros. Sendo que os pontos 1A, 1B, 1C e 1D referem-se as nascentes. Na Área Antropizada/Urbana utilizou-se 22 pontos de amostragem, distante 250 metros entre si, tendo início no ponto de captação de água para abastecimento do município, assim como é possível perceber na Fig. 1. Utilizou-se o software Google Earth, visto que este atende ao Padrão de Exatidão Cartográfica [16].

## III. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### A. Caracterização da Bacia do Rio Alegria

Com a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Alegria apresentada na Fig. 1, pode-se perceber que a mesma encontra-se totalmente inserida no perímetro do município de Medianeira e recebe a contribuição das Sangas Manduri, Maguari e Magnólia ainda na zona rural do município. Posteriormente o fluxo Rio Alegria segue para a zona

urbanizada do município, onde é extraída água para abastecimento humano.



Fig. 1. Pontos de amostragem das faixas marginais de mata ciliar

A partir da Tabela 1 pode-se visualizar os parâmetros morfométricos obtidos com a delimitação da área da bacia hidrográfica (Fig. 1). Pode-se perceber ainda que a Bacia de estudo ocupa 21% da área total do município de Medianeira (328,732 Km<sup>2</sup>) [17]. O comprimento total do Rio Alegria e de seus afluentes é de 31,26 Km e o comprimento axial da bacia é de 20,55 Km.

A Bacia do Rio Alegria apresenta uma densidade de drenagem de 0,449 Km.Km<sup>-2</sup> o que revela uma deficiência, pois o valor indica uma densidade de drenagem baixa. Em suma, o escoamento superficial originado das precipitações deixará a bacia de forma lenta [18]. Corroborando com tal afirmativa temos o alongamento da bacia.

A bacia de estudo demonstra ser susceptível ao escoamento por ser mais alongada, ou seja, possui escoamento lento e maior capacidade de armazenamento, com pouca tendência a grandes enchentes de acordo com coeficiente de compacidade distante da unidade (1,644). Juntamente com o valor baixo obtido para o fator de forma (0,165) e índice de circularidade (0,365), pode-se inferir que a Bacia do Rio Alegria é uma bacia alongada, uma bacia estreita e longa, com fator de forma baixo, na qual há menor possibilidade de ocorrência de precipitações intensas cobrindo simultaneamente toda a extensão da bacia [19].

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Dados Morfométricos da Bacia do Rio Alegria	Valor	Unidade
Perímetro (P)	48,99	Km
Área (A)	69,65	Km <sup>2</sup>
Comprimento axial da bacia (Lx)	20,55	Km
Comprimento total dos canais (Lt)	31,26	Km
Densidade de drenagem (Dd)	0,449	Km.Km <sup>-2</sup>
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,644	
Fator de forma (Kf)	0,165	
Índice de circularidade (Ic)	0,365	



Procedendo-se a caracterização física da bacia, pode-se perceber que o relevo predominante é de formas planas (com declive de 0 à 3%) e suave ondulado (declive de 3% à 8%). Os declives mais acentuados concentram-se nas áreas próximas aos cursos hídricos, principalmente à jusante, como se pode observar na Fig. 2.

Quanto à hipsometria, a Bacia do Rio Alegria possui áreas mais elevadas na região das nascentes do Rio Alegria, e estas altitudes decaem ao longo do curso da hidrografia, apresentando as menores altitudes à jusante e baixa vertente do rio, como se pode observar na Fig. 3.

De acordo com o mapa de uso e ocupação do solo tem-se que porção da Bacia do Rio Alegria refere-se à área antropizada/urbana do município de Medianeira (22,7%), porém o principal uso do solo refere-se à agropecuária, como é possível observar na Fig. 4, com 62,69% da área da bacia.

A cobertura vegetal remanescente totaliza 14,61% da área total da Bacia do Rio Alegria. No perímetro urbano há uma região com maior concentração de cobertura vegetal, esta área refere-se ao Parque Ambiental Frimesa, uma área de preservação permanente mantida por uma cooperativa local.

#### B. Avaliação da Mata ciliar

1) *Sangas e suas nascentes*: A partir das aferições métricas obteve-se a Tabela 2, com as dimensões das faixas marginais de mata ciliar das sangas na região e do curso principal das sangas.

Considerando o raio mínimo de 50 metros estabelecido pela Resolução CONAMA n°. 303/2002, para região de nascentes, nenhuma das sangas atende a legislação (pontos 1B, 1C e 1D). Entretanto, quanto ao restante do curso das sangas, nos pontos de amostragem, a faixa marginal mínima de 30 metros de vegetação é mantida integralmente.

TABELA 2 – AFERIÇÃO DA MATA CILIAR DAS SANGAS E SUAS NASCENTES.

	Pontos de Amostragem	Largura Borda Direta (m)	Largura Borda Esquerda (m)
Sanga Manduri	1 B	33,9	26,3
	2 B	114	205
	3 B	79,4	68,2
	4 B	38,7	31,9
Sanga Maguari	1 C	21,8	32,1
	2 C	36,1	30,1
	3 C	31	47,5
	4 C	41,5	42,2
	5 C	40,4	49,7
	6 C	46,3	42
Sanga Magnólia	1 D	35,4	49,7
	2 D	51,6	16,5
	3 D	166	32,7
	4 D	37,5	48,8
	5 D	43,3	47,2
	6 D	38,3	68,9

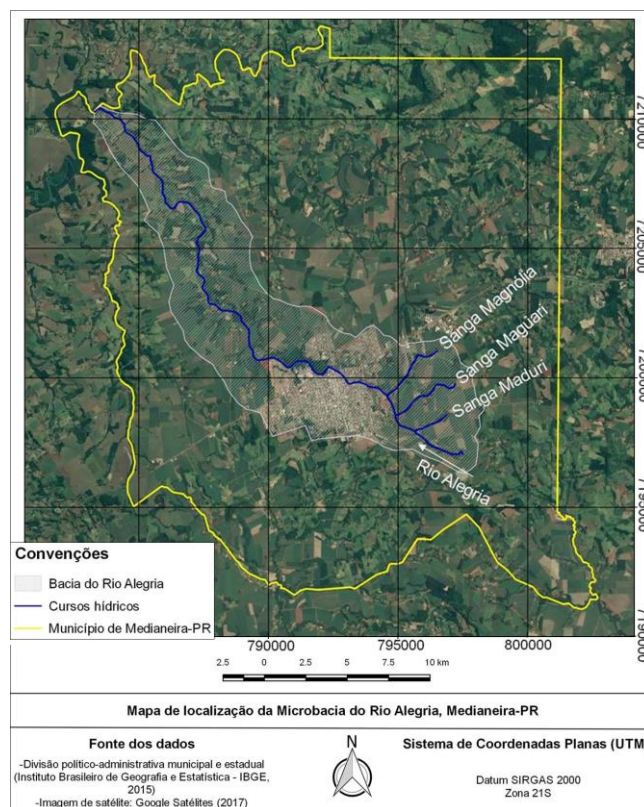


Fig. 2. Mapa de localização da Bacia do Rio Alegria

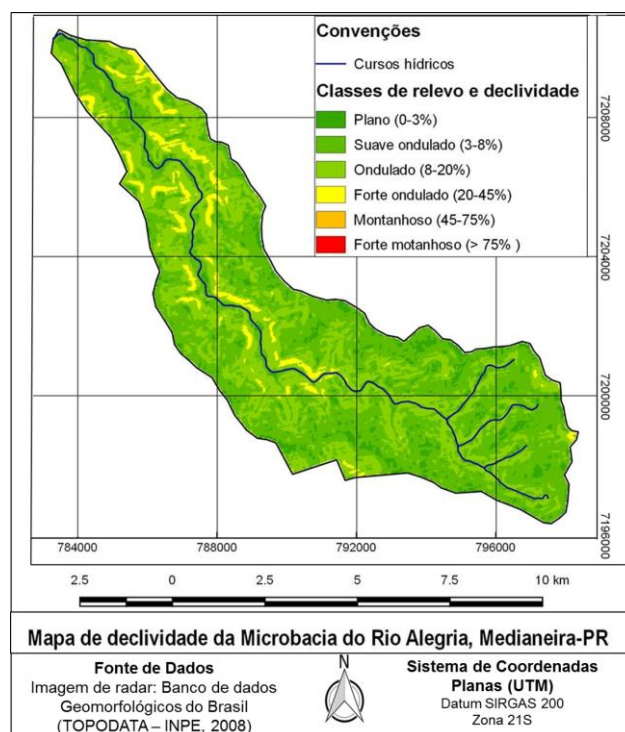


Fig. 3. Mapa de declividade da Bacia do Rio Alegria



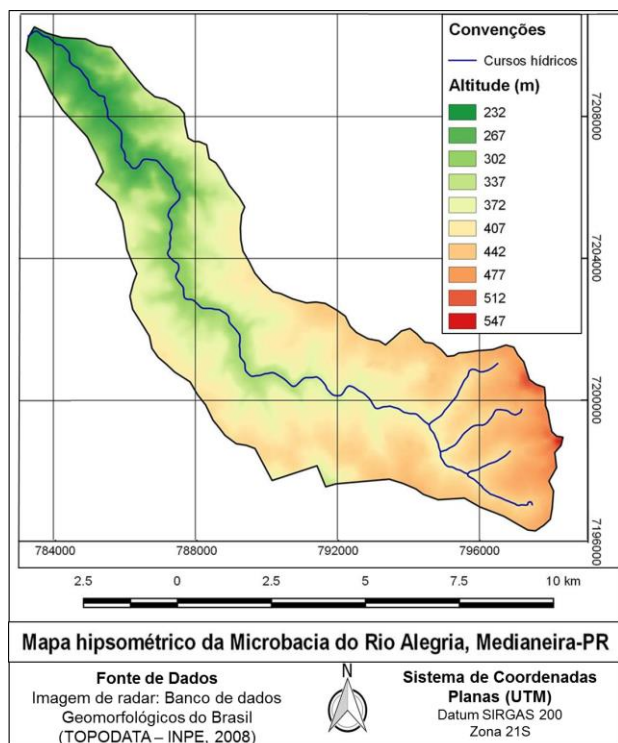


Fig. 4. Mapa hipsométrico da Bacia do Rio Alegria

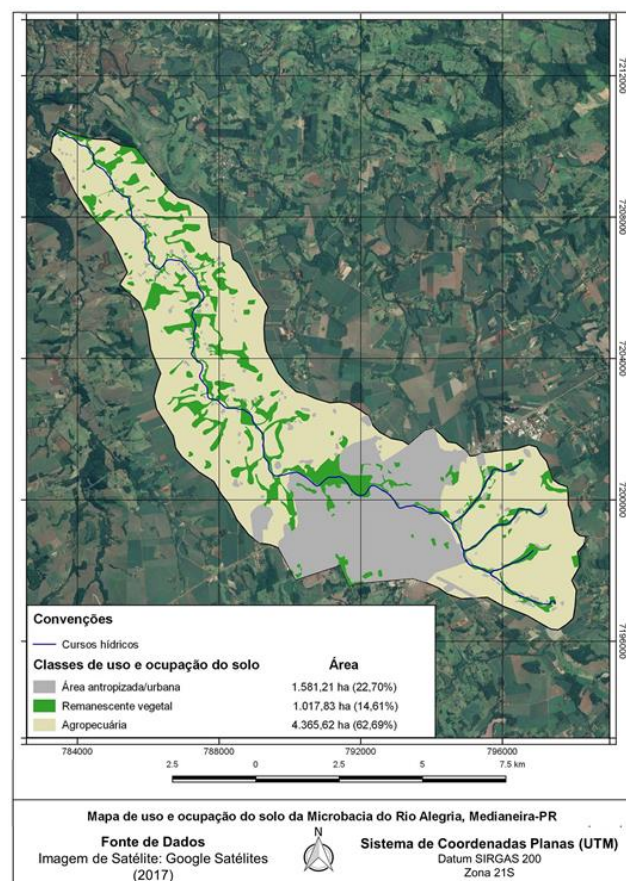


Fig. 5. Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Rio Alegria

2) *Alto Alegria*: Quanto ao alto Alegria, a área de nascente encontra-se devidamente preservada, porém ao longo do leito do rio a maioria dos pontos de amostragem não se enquadra na legislação, totalizando 56% das aferições classificadas como inadequadas, verificada na Tabela 3.

As regiões em que ocorre descontinuidade da mata ciliar, nas quais a cobertura vegetal foi substituída por áreas agropecuárias representam risco de contaminação aos cursos hídricos devido à lixiviação dos agroquímicos utilizados e despejo de efluente no solo para o beneficiamento da colheita. Fato preocupante, visto que o Rio Alegria é o manancial de abastecimento municipal, no qual a água recebe apenas tratamento convencional.

TABELA 3 – AFERIÇÃO DA MATA CILIAR NO ALTO ALEGRIA.

Pontos de Amostragem	Largura Borda Direta (m)	Largura Borda Esquerda (m)
1 A	140	58
2 A	31,3	88,9
3 A	49,3	35,6
4 A	32,2	55,9
5 A	81,9	26,3
6 A	34,7	75,2
7 A	25,8	32,7
8 A	19,2	26,4
9 A	19,3	26,6
10 A	50,6	64,1
11 A	43,3	37,8
12 A	35	25,9
13 A	13,7	10,9
14 A	21,2	15,7
15 A	29,8	30,6
16 A	16,3	17,4
17 A	22	34,5
18 A	18,6	11,7
19 A	41,5	41,4

3) *Rio Alegria na Área Urbana (Médio Alegria)*: Avaliando-se os resultados apresentados na Tabela 4, a faixa marginal de mata ciliar na área urbana tem-se que 40,1% dos pontos de amostragem resultaram em valores inferiores ao estabelecido na legislação. Sendo que essa irregularidade se concentra na região central da área urbana e cessam no intervalo em que o Rio Alegria está inserido no Parque Ambiental Frimesa (correspondente aos pontos de 10 à 18E).

Na área urbanizada do município percebe-se que a mata ciliar foi suprimida em diversos pontos, este fato aliado à densidade de drenagem insuficiente da Bacia do Rio Alegria aumenta a tendência de inundações na região. Dado ao assoreamento presente na hidrografia local e ocupação das margens, algumas áreas mais baixas da cidade sofrem com problemas de alagamentos e enchentes em ocasiões de precipitações intensas [20].

TABELA 4 – AFERIÇÃO DA MATA CILIAR NA ÁREA URBANA.

Hidrografia	Pontos de Amostragem	Largura Borda Direta (m)	Largura Borda Esquerda (m)
Rio Alegria	1 E	23,19	28,2
	2 E	65,94	17,49
	3 E	34,64	31,15
	4 E	12,46	10,26
	5 E	0,5	0,5
	6 E	28,74	23,78
	7 E	12,06	11,26
	8 E	22,65	29,79
	9 E	25,29	30,38
	10 E	267,6	61,58
	11 E	466,43	194,19
	12 E	463,87	138,59
	13 E	239,92	47,75
	14 E	48,25	155,44
	15 E	284,11	159,49
	16 E	380,89	256,9
	17 E	283,32	136,73
	18 E	179,1	56,08
	19 E	19,7	87,29
	20 E	102,92	97,1
	21 E	19,75	23,2
	22 E	30,86	31,51

## IV. CONCLUSÕES

De acordo com as análises morfométricas, pode-se inferir que a bacia de estudo é pouco susceptível a inundações dado ao seu formato alongado, entretanto possui baixa densidade de drenagem.

Quanto a composição de mata ciliar temos que:

- Nenhuma das sangas atende a legislação;
- 56% das aferições são classificadas como inadequadas no alto alegria;
- A faixa marginal de mata ciliar na área urbana tem 40,1% dos pontos de amostragem com valores inferiores ao estabelecido na legislação.

## REFERÊNCIAS

- [1] DALMOLIM, Décio; HENKES, Jairo Afonso. A Degradação nas margens de Arroios no Município De Ipiranga. R. gest. sust. ambient. Universidade do Sul de Santa Catarina. v. 3, n. 2, p. 363-383. Florianópolis, 2014.
- [2] VESTENA, L. R., THOMAS, E. L., Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na bacia do Rio das Pedras, Guarapupava – PR. *Ambiência*, v.2 n.1 p. 73-85. 2006.
- [3] BRASIL, Presidência da República. Lei Nº 12.651, 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Congresso Nacional. 2012.
- [4] RIZZO. Marçal Rogério. A efetiva participação do setor público na recuperação e manutenção das matas ciliares. ANAP Brasil. 2008.
- [5] SANTOS, Marina Gontijo. Zoneamento ambiental da área da unidade de conservação Tiúba em Palmas - TO para embasar a sua implantação como parque linear. 2015. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2015.
- [6] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.
- [7] KUNTSCHIK, Daniela; EDUARTE, Marina; UEHARA, Thiago Hector. Matas Ciliares: Caderno de Educação Ambiental. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de biodiversidade e recursos Naturais. São Paulo. 2011.
- [8] SEMA, Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto das Águas do Paraná. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo\\_executivo\\_PLERH.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/PLERH/resumo_executivo_PLERH.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2017.
- [9] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- [10] KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie. Berlin. Verlag Justus Perthes. 1936.
- [11] Maack, R. 1950. Mapa fitogeográfico do estado do Paraná. Curitiba Serviço de Geografia e Petrografia do Instituto de Biologia e Pesquisa Tecnológica, Secretaria de Agricultura, Indústria e Comércio e Instituto Nacional do Pinho.
- [12] Roderjan, C.V.; Galvão, F.; Kuniyoshi, Y. S.; & Hatschback, G. 2002. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. *Ciência e Ambiente*. v. 24, n. 1, p. 75-92. 2002.
- [13] LEITE, P. F. As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil. Proposta de classificação. Curitiba, 1994. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- [14] VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p
- [15] MÜLLER, V.C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology. n. 3, p. 30, 1953.
- [16] ALENCAR, Cely Martins; SANTOS, Plácida. Precisão dos dados cartográficos disponíveis na web através da imagem do Google Earth. Encontro Internacional Dados, Tecnologia e Informação. Marília –SP. 2013.
- [17] IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativa da população de Medianeira em 2014. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=411580&idtema=130&search=parana|medianeira|estimativa-da-populacao-2014>>. Acesso em 03 abr. 2017.
- [18] GUARIZ, H. R. Morfometria e atributos físicos do solo da microbacia do Córrego Jaqueira-Alegre, ES. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. 275p.
- [19] TONELLO, Kelly Cristina et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG. *Rev. Árvore, Viçosa*, v. 30, n. 5, p. 849-857, Oct. 2006.
- [20] MEDIANEIRA, Prefeitura Municipal. Plano Diretor Municipal de Medianeira-PDMM, 2006. Disponível em: <<http://www.medianeira.pr.gov.br/planodiretor/>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

# *Tratamento e valorização energética de efluente agroindustrial em reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)*

Tatiane Mansano<sup>1</sup>

ESTiG, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.  
tatiane.cmansano@gmail.com

Larissa Oliveira Paulista<sup>2</sup>

ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal.  
larissa-paulista@hotmail.com

Rui Boaventura<sup>3</sup>

LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto.  
bventura@fe.up.pt

Ramiro Martins<sup>3</sup>

DTQB da ESTiG Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia 5300-253 Bragança, Portugal e LSRE-LCM, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Rua Dr Roberto Frias, 4200-456 Porto.  
rmartins@ipb.pt

**Resumo** — O acelerado crescimento da população traz consigo um aumento na geração de efluentes agroindustriais. A descarga inadequada desses efluentes afeta significativamente a qualidade dos recursos hídricos. Dessa forma, torna-se imperioso investir em processos de tratamento dos efluentes agroindustriais, em particular processos de baixo custo. Nesse contexto, o presente estudo compreende a concepção e construção de um reator UASB e otimização do tratamento por digestão anaeróbia do efluente bruto da produção de castanha pela empresa agroindustrial Sortegel. A eficiência do sistema foi avaliada mediante a determinação/monitorização dos parâmetros Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO<sub>5</sub>), Sólidos Suspensos Totais (SST), taxa de produção e qualidade (% de metano) do biogás. O reator foi alimentado durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40°C). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (HRT) e caudal volumétrico (QV): 0,66 d (QV=1509 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>); 1,33 d (QV=755 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>); 2,41 d (QV=415 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>). A eficiência média de remoção de CQO alcançou valores de 69%, 82% e 75%, respetivamente e, simultaneamente, a eficiência de remoção de CBO<sub>5</sub> associada foi de 84%, 91% e 70%. Relativamente ao teor de SST, os valores de remoção foram 78%, 94% e 63%. A taxa de produção de metano situou-se entre 2500 e 4800 L.CH<sub>4</sub>.kg<sup>-1</sup> CQO removido d<sup>-1</sup>. Para o conjunto dos tempos de retenção hidráulico testados, foram registadas elevadas concentrações de metano no biogás gerado: 66 - 75%, 70% e 75% para HRT de 0,66, 1,33 e 2,41 dias, respetivamente.

**Palavra-chaves**—biogás, digestão anaeróbia, efluente agroindustrial, metano, reator uasb.

## I. INTRODUÇÃO

Por muitos anos a castanha foi utilizada como um recurso para a sobrevivência na Ásia, Europa do Sul e Norte da África. Atualmente a produção de castanhas na Europa e Ocidente não é mais uma fonte de subsistência, mas continua

a desempenhar um papel importante na alimentação, obtenção de madeira e valorização da paisagem. Portugal foi o terceiro maior produtor de castanha na Europa (UE 28) e o sétimo a nível mundial em 2013, com uma produção anual de 24700 t, sendo o norte do País responsável por 84% da produção [1].

A produção industrial de castanha origina efluentes líquidos e seu descarte inadequado tem como uma das consequências a diminuição da qualidade de água potável para áreas urbanas [2]. Dessa forma, torna-se necessário haver intervenções das entidades governamentais, através de normas, políticas nacionais do ambiente e coimas aplicadas pelo não cumprimento das leis [3]. Neste âmbito, torna-se imprescindível para a sobrevivência no mercado, a implementação de meios de tratamento convencionais dos efluentes, com custos mínimos que, garantindo a qualidade e comercialização do produto, combinem a depuração dos efluentes com a produção de energia renovável [4].

A digestão anaeróbia vem sendo implantada como uma alternativa adequada, muito eficiente e de baixo custo [5]. Esta tecnologia é muito utilizada no processo de tratamento de águas residuais, onde, em condições anaeróbias e mesofílicas, os microrganismos anaeróbios convertem a matéria orgânica em um material mais estabilizado gerando como coproduto o biogás que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica e energia térmica [6][7]. Este tratamento pode ser realizado utilizando um reator de leito de lama de fluxo ascendente (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), que mantém um leito de lama com maior concentração de biomassa no fundo, melhorando a eficiência do processo [8].

Neste projeto, foi avaliada, por meio de um reator UASB à escala laboratorial, a eficiência de tratamento do efluente da empresa agroindustrial Sortegel, através da monitorização da Carência Química de Oxigênio (CQO), Carência

Bioquímica de Oxigênio ao fim de cinco dias a 20°C (CBO<sub>5</sub>) e Sólidos Suspensos Totais (SST), e ainda da determinação da qualidade (% de metano) e taxa de produção de biogás.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

O reator utilizado foi do tipo UASB em “Y”, construído a partir de tubos de PVC com diâmetro de 10 cm e um volume útil de 16 litros. Como inóculo (fonte de biomassa) foi utilizada lama proveniente do digestor anaeróbio da estação de tratamento de águas residuais (ETAR) de Bragança – Portugal, que ocupou 6,2 L (39% do volume útil).

Conforme se pode ver na Figura 1, a entrada do substrato acontece no ponto 1 através de uma bomba peristáltica (WATSON 120S), sendo a alimentação feita em regime semi-contínuo, com o tempo de funcionamento da bomba controlado por um temporizador. Após o escoamento ascendente, a corrente líquida, já estabilizada, passa pelo separador trifásico e sai pela tubagem inclinada (ponto 5). O biogás gerado é coletado no ponto 4, quantificado através de um dispositivo de polietileno, em forma de “H”, que mede através de impulsos elétricos o volume produzido, sendo a concentração de CH<sub>4</sub> medida por um sensor de metano (BlueSens, BCSC<sub>4</sub>, biogás). O reator está revestido por uma mangueira em forma de serpentina, por onde circula água quente de modo a manter a temperatura dentro do reator entre 30 e 40°C. A temperatura interna é monitorizada através de dois termopares (marca Multi) localizados no ponto 3 e entre os pontos 1 e 2.

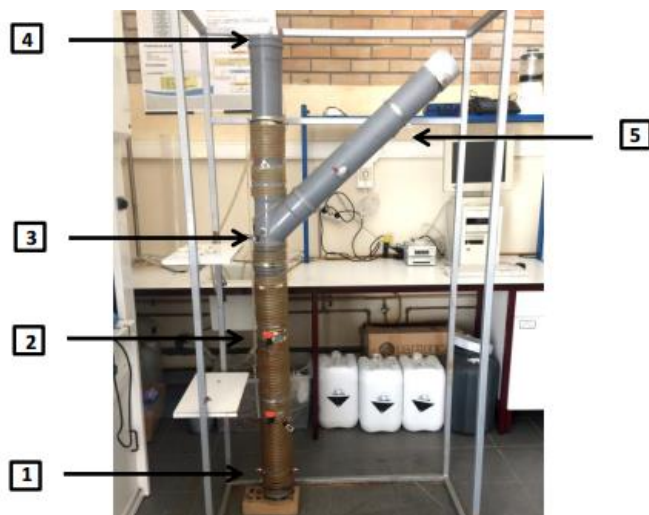


Fig. 1. Reator UASB tipo “Y”.

O reator foi alimentado com efluente agroindustrial durante 25 semanas e operado em condições mesofílicas (temperatura 30-40°C). Foram testados diferentes valores para o tempo de retenção hidráulica (TRH) (ou caudal volumétrico - QV): 2,41 d (QV=415 L.m<sup>-3</sup>reator.d<sup>-1</sup>) – semanas 1 a 16; 1,33 d (QV=755 L.m<sup>-3</sup>reator.d<sup>-1</sup>) – semanas 17 a 23; 0,66 d (QV=1509 L.m<sup>-3</sup>reator.d<sup>-1</sup>) – semanas 24 a 25. A frequência das análises para o controlo dos parâmetros físico-químicos e os métodos analíticos

utilizados para a determinação desses parâmetros são apresentados na Tabela 1.

TABELA I. PARÂMETROS MONITORADOS E FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM.

Parâmetro	Frequência de Amostragem			Método analítico
	Entrada do Reator	Reator	Saída do Reator	
pH	Diário	Diário	Diário	4500 H <sup>+</sup> B [9]
Temperatura	Diário	Diário	Diário	-
Sólidos Totais (ST)	Semanal	Mensal	-	2540 B [9]
Sólidos Fixos (SF)	Semanal	Mensal	-	2540 E [9]
Sólidos Voláteis (SV)	Semanal	Mensal	-	2540 E [9]
Sólidos Suspensos Totais (SST)	Semanal	-	Semanal	2540 D [9]
Alcalinidade	Semanal	Semanal	Semanal	2330 B [9]
Carência Bioquímica de Oxigênio (CBO <sub>5</sub> )	Semanal	-	Semanal	5210 B [9]
Carência Química de Oxigênio (CQO)	Semanal	-	Semanal	5220 C [9]
Ácidos Gordos Voláteis (AGV)	Semanal	Semanal	Semanal	[10]

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH ótimo para o crescimento microbiano deve estar na faixa de 6,5 a 8,2 [11], fato observado dentro do reator UASB na maior parte do tempo de operação, em que o pH variou de 5,6 a 8,0. Na alimentação o pH variou entre 4,9 a 8,1, valor usual para a generalidade dos efluentes industriais [12]. A alcalinidade interfere diretamente no pH pois proporciona o efeito tampão quando há produção de ácidos na digestão anaeróbia, pelo que é necessário mantê-la entre 2000 a 5000 mg.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> [13]. Para compensar a baixa alcalinidade e pH ácido do substrato foi adicionado bicarbonato de sódio na alimentação.

Outro parâmetro monitorado foi a concentração de ácidos gordos voláteis (AGV) que podem inibir o potencial de degradação da biomassa quando o seu valor excede 1500 mg.L<sup>-1</sup> [14]. Valores entre 1200-9900 mg.L<sup>-1</sup> podem inibir parcialmente a fase metanogênica e valores acima de 5800 mg.L<sup>-1</sup> provocam inibição total [15]. Tanto os valores analisados na entrada como à saída e dentro do reator não excederam os 300 mg.L<sup>-1</sup>. Além disso, o acompanhamento diário de temperatura dentro do reator mostrou que o sistema de aquecimento permitiu manter a temperatura entre 15 e 45°C, na maior parte do tempo dentro da gama mesofílica.

Para os diferentes tempos de retenção hidráulica (HRT), 0,66 d (QV=1509 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>), 1,33 d (QV=755 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>) e 2,41 d (QV=415 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>), foram obtidas remoções médias de CQO de 69% (gama 50% - 70%), 82% (gama 65% - 97%) e 75% (gama 60% - 88%), respetivamente (Figura 2). Verifica-se que se trata de um resultado satisfatório ao comparar com o trabalho realizado por [16] em que num estudo em diversos países utilizando o reator UASB foram obtidas remoções de CQO entre 50 a 90%. Além disso, foram registados valores da CQO inferiores a 150 mg.L<sup>-1</sup>



entre a 5ª e 13ª semana (com QV de  $416 \text{ L.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ ), cumprindo-se o estipulado no [17].

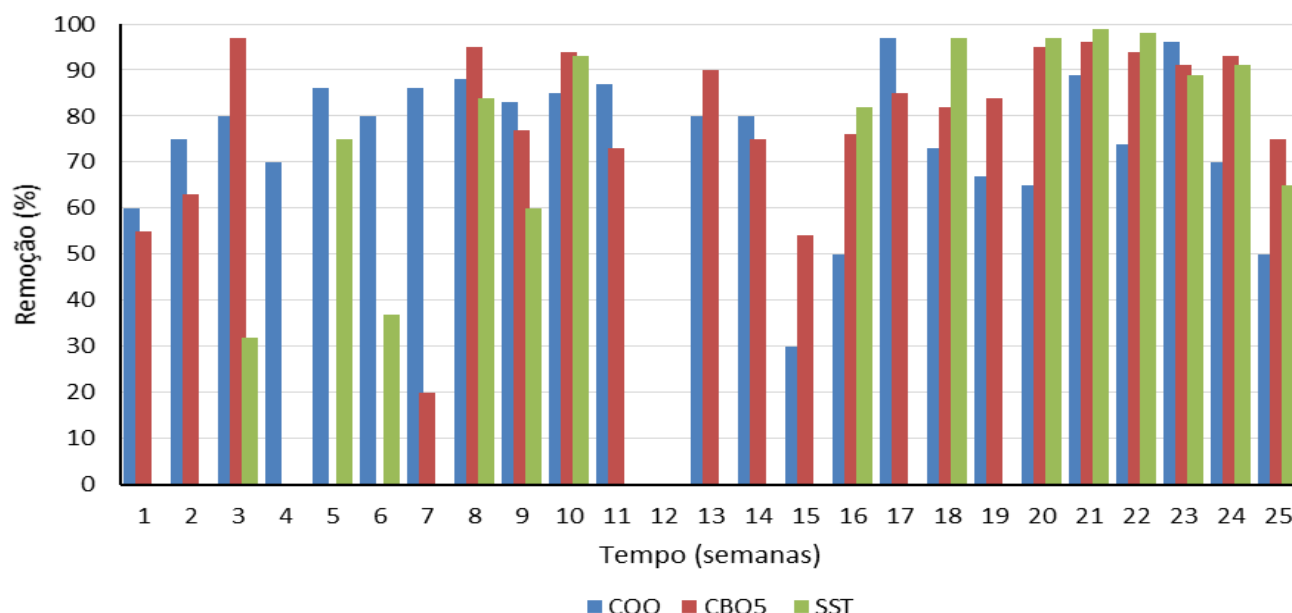


Fig. 2. Percentagens de remoção de CQO, CBO5 e SST para cada semana analisada..

Além disso, foram obtidas percentagens médias de remoção de CBO5, para os valores de HRT de 0,66 d, 1,33 d e 2,41 d, de 84% (75 a 93%), 91% (76 a 96%) e 70% (55 a 97%), respetivamente (Figura 2). Na alimentação, a CBO5 variou de 60 a  $1850 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$  e na saída entre 6 a  $832 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ . Entre a 5ª e 13ª semana ( $\text{QV} = 415 \text{ L.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ ) registaram-se valores entre  $100\text{-}150 \text{ mg O}_2.\text{L}^{-1}$ . Nesse período, quer a CBO5, quer a concentração de SST no efluente clarificado, mostraram a necessidade de um pós-tratamento para cumprir os limites de descarga no meio hídrico.

Segundo a Tabela 2 percebe-se que as remoções de CQO e CBO5 foram similares a valores encontrados na literatura. Relativamente ao teor de SST, foi superior a valores encontrados na literatura para outros tipos de efluentes. Além disso, as remoções de SST, CQO e CBO5 foram maiores para uma carga orgânica volumétrica (COV) de  $1,64 \text{ Kg CQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$  e notou-se um melhor desempenho do reator para  $\text{TRH} = 1,33 \text{ d}$  ( $\text{QV} = 755 \text{ L.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ ).

Em relação ao teor de ST foram observados valores mínimos de  $316 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $719 \text{ mg.L}^{-1}$  e valores máximos foram  $3107 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $1738 \text{ mg.L}^{-1}$  na alimentação e dentro do reator, respetivamente. Em estudos realizados por Al-Jamal e Mahmoud (2009), ao tratarem águas residuais domésticas num reator UASB, as amostras apresentaram valores de ST superiores, na gama de  $53,9$  a  $66,9 \text{ g.L}^{-1}$ .

TABELA II. RESULTADOS DA LITERATURA E OBTIDOS NESTE ESTUDO PARA A REMOÇÃO DE CQO, CBO5 E SST.

Efluente	COV (kg CQO. $\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ )	CQO (% rem.)	CBO5 (% rem.)	SST (% rem.)	Ref.
Efluente doméstico	0,9	-	53	46	[18]
	2,3	57	64	64	[19]
	7,8	70	-	74	[20]
	10,4	39	-	34	[20]
Águas residuais domésticas e laticínios	3,4	69	79	72	[21]
Águas residuais sintéticas	4,0	90-92	94-96	-	[22]
Efluente agroindustrial (valores médios)	0,59	75	73	66	Neste estudo
	1,64	80	90	96	
	7,85	60	84	78	

A relação SV/ST indica indiretamente a concentração de biomassa no reator, sendo um valor mínimo de 0,67 considerado adequado para um bom desempenho do sistema [23]. Ao estudar o tratamento de efluente doméstico combinado com o efluente de uma indústria de laticínios, utilizando um reator UASB, [21] obtiveram para SV/ST

valores da ordem de 0,66. Pela Figura 3 pode-se observar que entre o 3º e o 4º mês a relação situa-se perto do valor 0,67, o que significa um bom desempenho do reator. Esse bom desempenho é, aliás, confirmado pelos valores médios de remoção de CQO e a CBO<sub>5</sub>, 82% e 91%, respetivamente, obtidos nesse período (Figura 2).

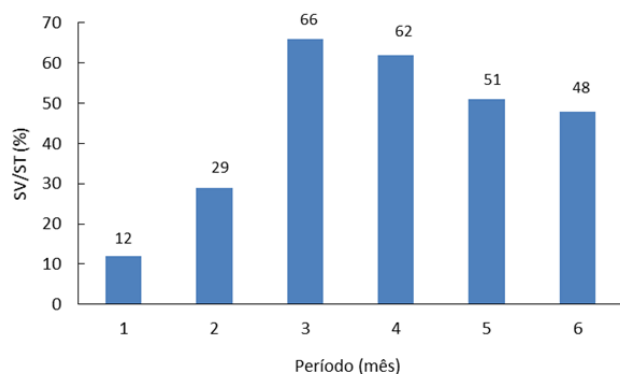


Fig. 3. Relação SV/ST no interior do reator UASB.

Na Figura 4 pode observar-se que a produção de biogás chegou a atingir cerca de 4700 L.kg<sup>-1</sup> CQO alimentação.d<sup>-1</sup>, enquanto a produção máxima de metano foi de cerca de 2400 L.kg<sup>-1</sup> CQO alimentação.d<sup>-1</sup> (valores obtidos na semana 19). A ordem de grandeza dos valores observados para a semana 18 e 19 (Figura 4) está correlacionada com a concentração de CQO do efluente nesse período (valores de CQO em torno de 3000 mg.L<sup>-1</sup>), enquanto que para as restantes semanas em que a concentração de biogás gerado foi inferior, a CQO apresentou valores em torno de 900 mg.L<sup>-1</sup>. A Figura 5 mostra a produção acumulada de biogás e metano. As concentrações médias de metano no biogás gerado foram ao longo do estudo as seguintes: 33%, 58% e 65% para TRH de 0,66, 1,33 e 2,41 d, respetivamente. Durante determinados períodos, porém, a percentagem de CH<sub>4</sub> no biogás chegou a atingir valores entre 70 e 80%. Para sistemas de cogeração o teor de metano no biogás não pode ser inferior a 40-45%, pois teores baixos impedem a operação dos motores [24]. Devido ao fato das características do substrato não serem constantes ao longo do tempo, percebe-se que há algumas quedas na percentagem de metano, o que poderia comprometer o sistema.

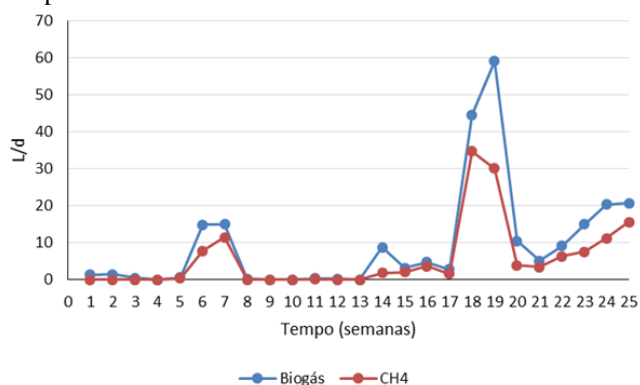


Fig. 4. Produção de biogás e metano.

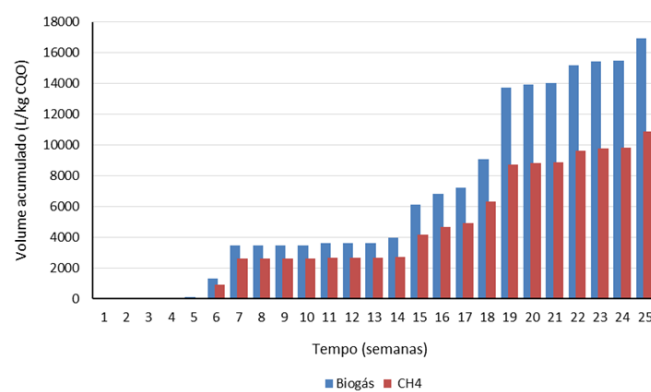


Fig. 5. Produção acumulada de biogás e metano.

Na Figura 6 pode observar-se a relação entre biogás e metano produzido e a CQO removida no reator. Durante todo o estudo as produções médias diárias foram de 0,47 e 0,33 L.kg<sup>-1</sup> de CQO removida para biogás e metano, respetivamente. Os valores são relativamente baixos mas admite-se que tal possa ser devido à elevada variabilidade da composição do efluente industrial (a CQO variou entre 80 e 10000 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>).

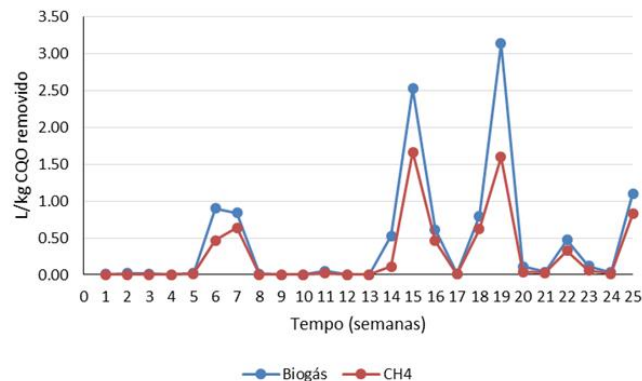


Fig. 6. Produção diária de biogás e metano relativamente à CQO removida.

A produção máxima de biogás e metano foi, respetivamente, de 59 e 30-35 L.d<sup>-1</sup> (para QV = 755 L.m<sup>-3</sup> reator.d<sup>-1</sup>), a que correspondem 3,1 e 1,7 L.kg<sup>-1</sup> CQO removida.

#### IV. CONCLUSÃO

O reator UASB pode ser usado no tratamento primário de um efluente agroindustrial de produção de castanha, obtendo-se valores muito satisfatórios de remoção de CQO, CBO<sub>5</sub> e SST para caudais volumétricos de 415 a 1509 L.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>. Conseguiu-se ainda uma valorização energética do efluente, associada à produção de metano registada durante largos períodos de operação, chegando a atingir cerca 35 L.d<sup>-1</sup>.

#### AGRADECIMENTO

Este trabalho foi financiado pelo Projeto POCI-01-0145-FEDER-006984 - Laboratório Associado LSRE/LCM - financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento



Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.

## REFERÊNCIAS

- [1] Rosa, D., Figueiredo, F., Castanheira, É., Feliciano, M., Maia, F., Santos, J., Silva, A.P., Trindade, H. & Freire, F. (2015). Life-Cycle greenhouse gas assessment of Portuguese chestnut. Conference on Energy for Sustainability 2015-Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, May 14-15, Coimbra, Portugal.
- [2] Sun, Y., Chen, Z., Wu, G., Wu, Q., Zhang, F., & Niu, Z. (2016). Characteristics of water quality of municipal wastewater treatment plants in China: Implications for resources utilization and management. *Journal of Cleaner Production*, 131, 1–9.
- [3] Fernandes, G. F., & Oliveira, R. A. (2006). Desempenho e processo anaeróbio em dois estágios (Reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinicultura. *Engenharia Agrícola*, 26, 243-256.
- [4] Lansing, S., Botero, R. B., & Martin, J. F. (2008). Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, 99, 5881-5890.
- [5] Vieira, G. E., & Alexandre, G. P. (2014). Tratamento, caracterização e obtenção de bio-óleo combustível a partir da pirólise termocatalítica de lodo de esgoto doméstico. *Revista Liberato*, 14, 01-104.
- [6] Szarblewski, M. d., Schneider, R. d., & Machado, E. L. (2012). Métodos para a remoção de sulfeto de hidrogênio de efluentes. *Revista Jovens pesquisadores*, 62-74.
- [7] Chen, Y., He, J., Mu, Y., Huo, Y.-C., Zhang, Z., Kotsopoulos, T. A., et al. (2015). Mathematical modeling of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors: Simultaneous accounting for hydrodynamics and bio-dynamics. *Chemical Engineering Science*, 137, 677-684.
- [8] Batstone, D., & Jensen, P. (2015). Anaerobic Processes. *Water-quality Engineering*, 4, 615-639.
- [9] APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater (2012). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th Edition, Washington.
- [10] Buchauer, K. (1998). A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in influents to wastewater and sludge treatment processes. *Water S. A.*, 24(1), 49-56.
- [11] Maria, J. S. (2015). Tratamento Anaeróbio do Efluente da Indústria de Laticínios usando um Reator UASB. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola.
- [12] Bustillo-Lecompte e Mahrab Mehrvar (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances, *Journal of Environmental Management* 161, 287-302.
- [13] Linville, J. L., Shen, Y., Schoene, R. P., Nguyen, M., & Urgan-Demirtas, M. (2016). Impact of trace element additives on anaerobic digestion of sewage sludge with in-situ carbon dioxide sequestration. *Process Biochemistry*, 51, 1283-1289.
- [14] García-Sandoval, J. P., Méndez-Acosta, H. O., González-Alvarez, V., Schaum, A., & Alvarez, J. (2016). VFA robust control of an anaerobic digestion pilot plant: experimental implementation. *IFAC-Papers online*, 49 (7), 973-977.
- [15] Shi, X., Lin, J., Zuo, J., P. L., Li, X. & Guo, X. (2016). Effects of free ammonia on volatile fatty acid accumulation and process performance in the anaerobic digestion of two typical bio-wastes. *Journal of Environmental Sciences* (online 31 julho 2016).
- [16] Khan, A. A., Gaur, R. Z., Tyagi, V., Khursheed, A., & Lew, B. (2011). Sustainable options of post treatment of UASB effluent treating sewage: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 55, 1232-1251.
- [17] Decreto-Lei n° 236/98 (1998). *Diário da República*, 3676-3722
- [18] Halalsheh, M., Sawajneh, Z., Zu'bi, M., Zeeman, G., Lier, J., Fayyad, M., et al. (2005). Treatment of strong domestic sewage in a 96 m3 UASB reactor operated at ambient temperatures: two-stage versus single-stage reactor. *Bioresource Technology*, 96, 577-585.
- [19] Moawad, A., Mahmoud, U., El-Khateeb, M., & El-Molla, E. (2009). Coupling of sequencing batch reactor and UASB reactor for domestic wastewater treatment. *Desalination*, 242, 325-335.
- [20] Moharram, M., Abdelhalim, H., & Rozaik, E. (2015). Anaerobic up flow fluidized bed reactor performance as a primary treatment unit in domestic wastewater treatment. *HBRC Journal*, 12(1), 99–105.
- [21] Tawfik, A., Sobhey, M., & Badawy, M. (2008). Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by activated sludge (AS system). *Desalination*, 227, 167-177.
- [22] Singh, K. S., Harada, H. & Viraraghavan, T. (1996). Low-strength wastewater treatment by a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 55, 187-194.
- [23] Al-Jamal, W., & Mahmoud, N. (2009). Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank. *Bioresource Technology*, 100, 1061-1068.
- [24] Probiogás. (2010). Guia prático do Biogás: Geração e Utilização. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR).



# *Avaliação da Complexidade e Compacidade em Bairros Contrastantes da Cidade de Bragança*

Gleici Perola de Oliveira dos Santos<sup>1</sup>; Artur Jorge de Jesus Gonçalves<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, Mestrado em Tecnologia Ambiental. Bragança, Portugal.  
e-mail: gleiciperola.santos@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto Politécnico de Bragança, Centro de Investigação da Montanha, Bragança, Portugal.  
e-mail: ajg@ipb.pt

Maristela Denise Moresco Mezzomo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Ambiental.  
Campo Mourão/PR, Brasil  
e-mail: maristelamezzomo@gmail.com

**Resumo**— Este trabalho tem o objetivo de apresentar os resultados da aplicação dos indicadores de complexidade e compacidade corrigida na análise do espaço urbano, considerando a perspectiva da sustentabilidade, e o bairro como escala de análise. Buscou-se avaliar por meio dos resultados os efeitos dos contrastes urbanos sob a sustentabilidade, com o enfoque nas diferenças entre o espaço urbano tradicional e o contemporâneo. Para isso, os indicadores foram calculados de forma generalizada para cada bairro e de forma específica, por quadriculas, considerando raios de influência de distância euclidiana. A metodologia utilizada para escolha dos indicadores também é apresentada. Por fim, a comparação entre os valores obtidos revela que há maiores valores de complexidade no contexto tradicional (Zona Histórica) do que no contemporâneo (Bairro da Braguinha), e que o inverso ocorre no caso da compacidade, mostrando a influência do padrão de urbanização sobre aspectos que exercem influência sobre a sustentabilidade.

**Palavras-chave:** complexidade; compacidade; indicadores; sustentabilidade; bairros

## I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável de uma cidade é muitas vezes relacionado à capacidade de esta se sustentar sem nenhum impacto adverso no sistema natural global [1], no entanto, obter a sustentabilidade sob esta perspectiva se torna uma tarefa impossível, visto que a escala urbana se constitui em um sistema complexo e dinâmico [2].

Porém, tendo em vista a influência do planeamento em todo o dinamismo urbano, é possível avaliar e propor metas de desenvolvimento sustentável com base na capacidade do planeamento em minimizar os impactos no ambiente [1]. Para tanto, existem iniciativas mundiais que visam, além de estabelecer as prioridades em termos de desenvolvimento, determinar princípios que sirvam como base para a tomada de decisão e possíveis diagnósticos, como a aplicação de indicadores que auxiliem na avaliação do grau de sustentabilidade.

A avaliação do ambiente urbano com base em indicadores ainda é um desafio devido à complexidade prática de integrar

as componentes social, econômica e ambiental. A maioria dos sistemas de indicadores de sustentabilidade é baseada em aspectos ambientais, deixando de lado os sociais, econômicos e institucionais, além de desconsiderar a variação de contextos entre diferentes locais [3].

Tais dificuldades reforçam a relevância da escala de análise na avaliação do ambiente urbano. Neste sentido, o bairro, sendo definido como bloco construtivo da cidade [4] permite uma avaliação suficientemente grande para se compreenderem amplas questões ambientais e suficientemente pequena para afetar a vida das pessoas e possibilitar praticidade de implementação [1].

Partindo deste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados da aplicação de dois indicadores na análise do espaço urbano, na perspectiva da sustentabilidade, considerando a sua unidade fundamental: o bairro. A metodologia e resultados apresentados fazem parte de uma pesquisa mais ampla na qual um sistema de indicadores é selecionado e aplicado. De entre os indicadores selecionados, dois são apresentados neste trabalho, com a intenção de comparar os contextos contemporâneo e tradicional, representados pelo Bairro da Braguinha (1.958 hab., 25,6 ha) e Zona Histórica de Bragança (1.661 hab., 73,1 ha.), respectivamente [5].

## II. METODOLOGIA

A avaliação da sustentabilidade nas áreas de estudo teve como base a aplicação de um sistema de indicadores definido a partir do levantamento na literatura de indicadores existentes, e posterior seleção através de critérios que justificam sua aplicação e grau de influência sobre a sustentabilidade. As etapas de seleção estão resumidas na Tabela I.

TABELA I - ETAPAS DA METODOLOGIA DE SELEÇÃO DE INDICADORES

<b>Etapas</b>	<b>Metodologia</b>
Levantamento Bibliográfico	Levantamento de indicadores aplicáveis à escala urbana
Seleção de indicadores viáveis	Seleção com base na aplicabilidade na área de estudo e da disponibilidade de dados
Avaliação	Avaliação da quantidade de princípios (Tabela 2) associados a cada indicador selecionado
Obtenção do sistema de indicadores	Seleção dos indicadores com maior quantidade de princípios associados.

A seleção de indicadores teve como principal ferramenta norteadora os princípios de sustentabilidade contidos em documentos internacionais, nomeadamente, a Carta do Novo Urbanismo Norte-americano, a Nova Carta de Atenas, Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e a Nova Agenda Urbana. A Tabela II apresenta os princípios levantados e os respectivos documentos de referência.

Através das etapas de seleção, foram obtidos 15 indicadores de sustentabilidade, dos quais, os dois com maior quantidade

de princípios associados são apresentados neste trabalho, sendo eles: Complexidade e Compacidade Corrigida.

O indicador Complexidade apresentou relação com os princípios: 1; 3; 6; 7; 13; 17; 21; 23; 25; 26; 28; 29; 32; 33; 35; 36; 37. Por sua vez, o indicador Compacidade Corrigida teve os seguintes princípios associados: 1; 2; 3; 6; 12; 13; 14; 19; 24; 27; 28; 29; 31; 32; 35.

TABELA II - PRINCÍPIOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RESPECTIVOS DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Princípios	CNU <sup>a</sup>	H III <sup>b</sup>	NCA <sup>c</sup>	ODS <sup>d</sup>
1 Uso misto do solo	X			
2 Prevenção do espalhamento urbano ( <i>sprawl</i> )	X	X		
3 Qualidade dos projetos de urbanização		X		
4 Uso sustentável da terra e dos recursos no desenvolvimento urbano		X		
5 Redução dos riscos de desastres naturais		X	X	X
6 Prevenção da especulação imobiliária		X		
7 Atividades de interesse público, institucionais e comerciais distribuídas entre bairros e distritos.	X			
8 Interação com o restante da cidade	X			X
9 Redes urbanas policêntricas			X	
10 Proteção dos ecossistemas e da biodiversidade		X		X
11 Mitigação e adaptação às mudanças climáticas		X		X
12 Resiliência das construções urbanas		X		X
13 Permanência do caráter, da cultura e da diversidade da cidade.	X		X	X
14 Moradias acessíveis	X	X		X
15 Transporte público ambientalmente adequado				X
16 Facilidade para pedestres	X		X	
17 Variedade de escolhas de modos de transporte	X		X	
18 Acessibilidade ao transporte público de qualidade	X			X
19 Eficiência energética e utilização de fontes de energia renovável		X	X	
20 Promoção do consumo sustentável e padrões de produção		X		
21 Gerenciamento do balanço “input-output” dos recursos consumidos			X	
22 Uso sensato dos recursos disponíveis, principalmente os naturais, não renováveis			X	
23 Sistemas de tratamento e destinação de resíduos autossuficiente			X	
24 Proteção das cidades contra excesso de poluição			X	X
25 Participação pública	X	X	X	X
26 Direitos e oportunidades iguais		X	X	X
27 Diversidade socioeconômica e cultural	X	X	X	
28 Integração social nos espaços urbanos	X	X	X	X
29 Acessibilidade a infraestruturas e serviços básicos.	X	X		X
30 Melhoria nas habitações e qualidade de vida.		X		X
31 Segurança			X	X
32 Alta produtividade e competitividade.		X	X	
33 Pleno emprego e trabalho digno para todos		X		
34 Promover posse segura da terra		X		
35 Redes de informações ativas e acessíveis		X	X	
36 Inovação		X		
37 Novas tecnologias a favor do sistema de transportes e fluxo de informação		X	X	

a. Carta do Novo Urbanismo Norte Americano; b. Nova Agenda Urbana ; c. Nova Carta de Atenas; d. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

## A. Complexidade

A complexidade aplicada ao contexto urbano é um indicador que representa a presença de diferentes elementos portadores de informação que estabelecem relações múltiplas e variadas entre si [6]. Estas relações podem ser representadas por meio do cálculo do Índice de Shannon (H), dado por (1) [6].

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \times \log_2 P_i \quad (1)$$

onde n é a quantidade de atividades e P<sub>i</sub>, a abundância relativa de cada tipo de atividade.

As atividades contidas dentro dos limites de cada bairro foram levantadas e classificadas em trabalho de campo tendo como base as subclasses de atividades listadas na Classificação Portuguesa de Actividades Económicas – Rev. 3. A partir dos dados obtidos o indicador foi calculado para cada bairro.

Ainda, com auxílio dos *Softwares* ArcGis 10.3.1 e Qgis 2.14.7, o Índice de Shannon (H) foi calculado para quadriculas de 100m x100m. No cálculo foram consideradas, além das atividades no interior das quadriculas, as atividades adjacentes

contidas em um raio de distância euclidiana de 100m. Esta distância traduz a influência para além da fronteira da quadricula, pela proximidade conveniente com serviços e atividades relevantes para cada unidade central.

### B. Compacidade corrigida

O indicador de compacidade avalia a proximidade entre usos e funções no espaço urbano, a fim de configurar um espaço público promotor da ideia de cidade e não de urbanização. A compacidade corrigida, por vez, integra na avaliação da compacidade os espaços dedicados aos cidadãos. Assim, o indicador tem o intuito de enfatizar o grau de equilíbrio territorial entre a compressão e a descompressão urbana [7]. Para tal, a compacidade corrigida,  $C$ , é calculada por meio da relação entre o volume construído de um determinado tecido urbano e espaços de permanência, como os espaços de relação, de recreação e de verde urbano, conforme mostra (2) [6].

$$C = \frac{\text{Volume edificado(m}^3\text{)}}{\text{Espaço Público de Permanência (m}^2\text{)}} \quad (2)$$

Para o cálculo do indicador, os espaços de permanência foram identificados através de imagens de satélite Bing Aerial e trabalho de campo. Os espaços de permanência considerados foram aqueles que, por suas características morfológicas e funcionais, permitem em graus distintos a interação entre pessoas ou a interação destas com o entorno de caráter público e acessível [7].

Então, com auxílio dos *Softwares* ArcMap 10.3.1 e Qgis 2.14.7, o indicador foi calculado para os dois bairros de forma generalizada e por seções, tendo como base quadriculas de 100mx100m. Para cada quadricula, buscou-se obter um grau de compacidade, considerando o volume do edificado referente a cada quadricula e os espaços permanentes contidos em um raio de distância euclidiana de 250m, valor aproximado ao mencionado por diferentes autores para os espaços verdes urbanos, como [8] e [9].

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicando as fórmulas de cálculo para cada um dos bairros, foram obtidos valores absolutos que permitem verificar de forma generalizada o contraste entre as áreas de estudo (Tabela III).

TABELA III - ÍNDICES ABSOLUTOS DE SHANNON E DE COMPACIDADE CORRIGIDA

Bairro	Complexidade (bits)	Compacidade Corrigida(m)
Zona Histórica	6,2 (0,085/ha)	11,73
Bairro da Braguinha	5,38 (0,21/ha)	34,37

A comparação entre os valores obtidos revela que há maior complexidade absoluta na Zona Histórica do que no Bairro da Braguinha, e que o inverso ocorre no caso da compacidade, como pode ser observado também na Fig. 1. No entanto, quando ponderado em função da área, o Bairro da Braguinha apresenta um nível de complexidade superior.

A complexidade da Zona Histórica reflete a elevada diversidade de atividades contidas nesta área, principalmente devido ao fato desta compor o centro urbano e ter abrigado o início da urbanização do município, entre os séculos XVI e XVII [10]. O levantamento das atividades indicou a existência de 467 atividades distribuídas em 130 classes.

O bairro da Braguinha, por vez, apresentou 100 atividades distribuídas em 53 classes, a demonstrar que, apesar do baixo número de atividades, estas são diversificadas. Por possuir área menor e, por isso, atividades mais concentradas, o bairro apresenta um valor de complexidade por hectare superior ao da Zona Histórica. Embora a análise por hectare seja funcional para fins de comparação entre os bairros, os valores obtidos não devem ser traduzidos como uma expressão da densidade de atividades, visto que o índice de Shannon descreve a diversidade do sistema através da probabilidade de relação entre atividades [11], tendo como base a riqueza de classes de atividade e a equitabilidade, e não a densidade [12].

A variação do grau de complexidade no interior dos bairros pode ser observada na Fig. 1. Nela é possível notar que na Zona Histórica ocorre um gradiente de diversidade caracterizado por maior intensidade nas proximidades da área central da cidade e diminuição gradativa conforme se aproxima dos elementos de maior associação histórica, nomeadamente, o Castelo de Bragança, ao leste, e os eixos de via que o conectam ao centro da cidade.

O bairro da Braguinha apresenta duas regiões com maior diversidade de atividades, que não chegam a gerar grande influência sobre as áreas adjacentes, o que explica a baixa complexidade observada nas regiões mais claras do mapa.

De forma geral, em relação à Zona histórica, é possível concluir que a distribuição de atividades e organização de informação [11] é mais homogênea no Bairro da Braguinha, fator que pode ser justificado principalmente pelo uso misto do solo, com edificações residenciais com rés do chão maioritariamente reservado para o comércio, embora seja um bairro ainda pouco explorado e desenvolvido no que se refere à funcionalidade comercial.

Em relação à compacidade corrigida, o alto valor obtido para o Bairro da Braguinha, se deve ao elevado volume do edificado decorrente da predominante verticalização do bairro, com grande quantidade de edifícios de até 8 pisos. Foram identificados aproximadamente 2ha de espaços públicos de permanência, entre jardins, praças e calçadas equipadas com bancos para uma população correspondente de 1.958 habitantes, o que resulta em uma proporção de 11m<sup>2</sup>/habitante.

A Zona Histórica apresentou baixo índice de compacidade em relação ao bairro da Braguinha. Apesar de a Zona Histórica possuir maior volume edificado, a quantidade de espaços de permanência correspondente ao bairro também é alta, com aproximadamente 12ha para 1.661 habitantes, o que resulta em 72 m<sup>2</sup>/habitante.

Ainda, os dois bairros apresentam densidades populacionais diferentes. Enquanto a Braguinha possui densidade de 76,5 hab./ha, a Zona Histórica apresenta densidade de 22,2 hab./ha. Apesar de possuírem populações relativamente próximas, a Braguinha apresenta-se como um bairro compacto e com uma densidade média/baixa [13]. No caso da zona histórica, a densidade habitacional não é acompanhada pela presença de

população, pois encontram-se neste bairro muitos edifícios sem ocupação ou até em ruína.

Assim, o padrão de urbanização é outro fator a ser destacado. A Zona Histórica com predominância de habitações unifamiliares e, ainda, de comércio e equipamentos públicos adensados, se distingue da Braguinha, área de recente urbanização com padrão de edificação predominantemente verticalizado. Tal diferença reforça a ideia da influência do planejamento sobre a qualidade do ambiente urbano de forma que, distintos aglomerados urbanos, podem se diferenciar devido aos desenhos e formas dos espaços intra-urbanos [14].

Observando a compacidade dos bairros por seções (Fig. 2), é possível notar que espaços de permanência quando distribuídos de forma equilibrada e planejada no ambiente urbano gera significativa descompressão.

O bairro da Braguinha tem como principal área de permanência o Jardim da Braguinha, que compõe mais de 90% da área de permanência do bairro. Nas proximidades do jardim, ao sul do bairro, ocorrem baixos valores de compacidade,

mesmo que a maioria do edificado tenha de 4 a 8 patamares. O mesmo não ocorre ao norte, onde o alto grau de verticalização não possui considerável área de permanência ao alcance, o que caracteriza a região como altamente compacta.

A análise da Zona Histórica resultou em níveis de compacidade extremamente baixos na maior parte do bairro. O baixo volume do edificado, decorrente do padrão de urbanização histórico, associado à presença de espaços públicos de permanência distribuídos de forma equilibrada ao longo do bairro, são características representadas pelo indicador de compacidade corrigida. A presença de áreas de permanência na Zona Histórica, além das vantagens turísticas, reflete a preocupação com a preservação de espaços verdes históricos, e consequentemente do caráter icônico que a Zona Histórica representa para o município.

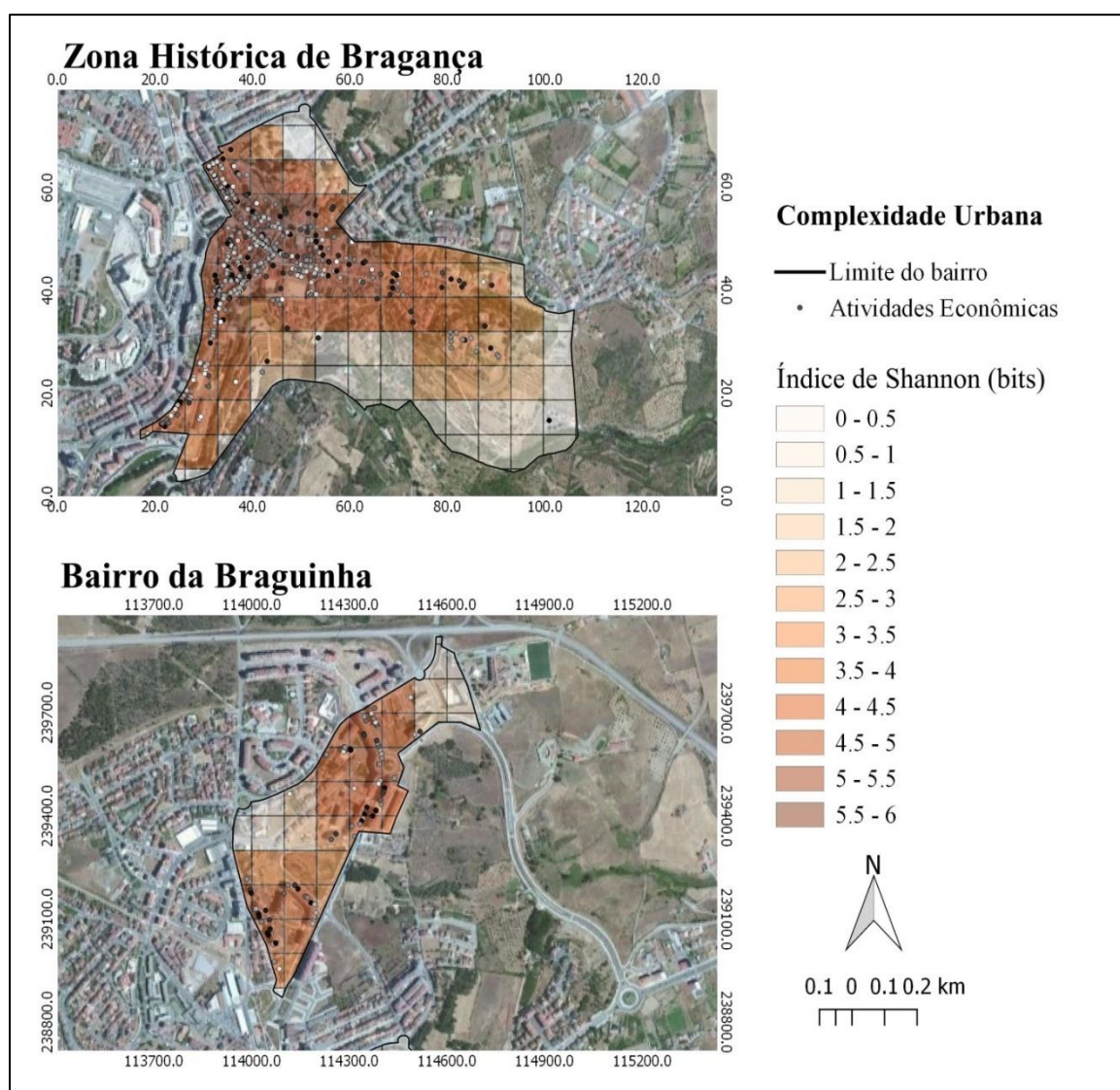


FIGURA 1 -- INDICADOR DE COMPLEXIDADE APLICADO À QUADRICULAS DE 100M X 100M, CONSIDERANDO RAIO DE INFLUÊNCIA DE 100 M



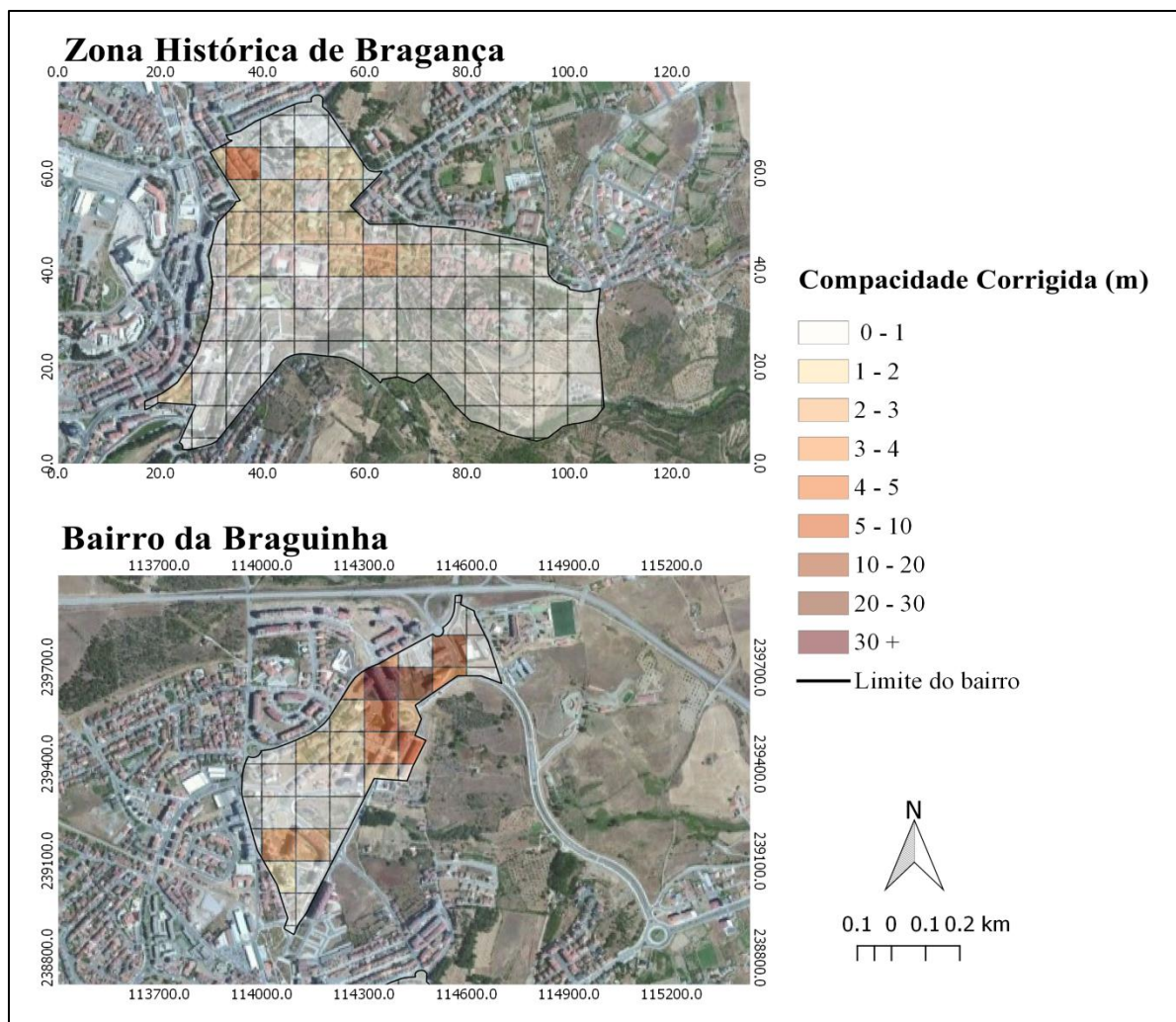


FIGURA 2 - INDICADOR DE COMPACIDADE APLICADO A QUADRICULAS DE 100M X 100M, CONSIDERANDO RAIOS DE INFLUÊNCIA DE 250M

#### IV. CONCLUSÕES

Os indicadores de complexidade e compacidade corrigida, por apresentarem grande quantidade de princípios de sustentabilidade associados, são meios de avaliação do ambiente urbano capazes de compreender questões que afetam desde a qualidade de vida até a influência sistêmica relacionada aos fluxos urbanos.

Nota-se que ambos os indicadores têm a capacidade de mediar conclusões acerca da relação entre a população e o espaço urbano, possibilitando obter informações que interferem diretamente no ambiente, na economia e no bem-estar social.

A partir da aplicação dos indicadores, foram analisados, sob a ótica da sustentabilidade, contextos contrastantes que fundamentaram o processo de urbanização, nomeadamente, contexto contemporâneo e tradicional. Para isso, considerou-se como objeto de estudo o bairro, unidade fundamental da cidade.

Os resultados obtidos para os bairros analisados revelaram que o padrão de ocupação adotado no processo de urbanização tem grande influência sobre muitos fatores determinantes para a qualidade do ambiente urbano, como a acessibilidade,

disponibilidade de espaços públicos e funcionalidade, os quais se encontram incorporados na avaliação dos indicadores de complexidade e compacidade corrigida.

Esses fatores estão condicionados à qualidade do processo de planeamento e exercem influência sobre aspectos ambientais, como a qualidade do solo, do ar e da água. Assim, é possível notar uma relação encadeada entre os aspectos urbanos e o ambiente que o sustenta, o que mostra a aplicabilidade dos indicadores para mensurar a capacidade do planeamento de minimizar os impactos ambientais, sem desconsiderar questões sociais e económicas associadas ao desenvolvimento urbano.

#### REFERÊNCIAS

- [1] D. Rudlin and N. Falk, *Building the 21st century home The sustainable urban neighbourhood*. URBED, 1999.
- [2] H. Bossel, *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications - A Report to the Balaton Group*. Canada: IISD, 1999.
- [3] M. L. Gomes, M. M. Marcelino, and M. da G. Espada, "Sistema de

- Indicadores de Desenvolvimento Sustentável,” 2000.
- [4] A. Sharifi and A. Murayama, “Neighborhood sustainability assessment in action: Cross-evaluation of three assessment systems and their cases from the US, the UK, and Japan,” *Build. Environ.*, vol. 72, pp. 243–258, 2014.
  - [5] Instituto Nacional de Estatística, “Censos 2011,” 2011. [Online]. Available: [http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos2011\\_apresentacao&xpid=CENSOS](http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=censos2011_apresentacao&xpid=CENSOS). [Accessed: 24-May-2017].
  - [6] S. Rueda, *Guía Metodológica para los sistemas de Auditoría, Certificación o Acreditación de la Calidad y Sostenibilidad en el Medio Urbano*. 2012.
  - [7] S. P. Rueda, “Plan Especial de Indicadores de Sostenibilidad Ambiental de la Actividad Urbanística de Sevilla,” p. 129, 2006.
  - [8] Natural England, “Nature nearby: accessible natural greenspace guidance,” *Peterborough*. Natural England, 2010.
  - [9] Manuela Raposo Magalhães, “A evolução do conceito de Espaço Verde Público Urbano,” *AGROS*, vol. 2, pp. 10–18, 1992.
  - [10] J. Jacob, *Bragança*, 1st ed. Lisboa: Editorial Presença, 1997.
  - [11] Salvador Rueda, “Metabolismo y complejidad del sistema urbano a la luz de la ecología,” 1996. [Online]. Available: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a008.html>. [Accessed: 21-May-2017].
  - [12] R. K. Peet, “The Measurement of Species Diversity,” *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, vol. 5, no. 1, pp. 285–307, Nov. 1974.
  - [13] M. C. LOBO, S. PARDAL, P. CORREIA, and M. S. LOBO, *Normas Urbanísticas - Princípios e Conceitos Fundamentais*, 2nd ed. Lisboa: Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, 1995.
  - [14] R. Ojima, “Novos contornos do crescimento urbano brasileiro? O conceito de urban sprawl e os desafios para o planeamento regional e ambiental,” Universidade Federal Fluminense, 2008.

# Análise do Efeito de Ilha de Calor Urbano na Cidade de Bragança

Gabriella de Ornelas Menezes<sup>1</sup>; Artur Gonçalves<sup>2</sup>;  
António Castro Ribeiro<sup>3</sup>; Manuel Feliciano<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária  
Mestrado em Tecnologia Ambiental. Bragança, Portugal.

gabriella.ornelas@gmail.com

<sup>2,3,4</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Centro de  
Investigação de Montanha. Bragança, Portugal.

ajg@ipb.pt<sup>2</sup>; antrib@ipb.pt<sup>3</sup>; msabenca@ipb.pt<sup>4</sup>

Aulus R. R. Bineli

Departamento de Engenharia Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Londrina, Brasil

aulusbineli@utfpr.edu.br

**Resumo**—Nas áreas urbanas, os edifícios e superfícies alteram as condições climáticas locais, criando um clima urbano. O Efeito de Ilha de Calor Urbano é a maior representação da relação entre cidade e clima e se dá pelo aumento da temperatura na área urbana face a área rural. Esse efeito varia no espaço e no tempo, atuando de maneira diferente nas diversas áreas da cidade e ao longo do dia e do ano, além de apresentar alterações de acordo com as condições meteorológicas. O presente estudo tem como referência uma rede de 23 sensores localizados no espaço urbano, periurbano e rural da cidade de Bragança, no extremo nordeste de Portugal. Os locais de monitorização foram definidos a partir do conceito de Zona Climática Local. Com o desenvolvimento deste trabalho, procurou-se analisar o clima urbano com a finalidade de caracterizar o Efeito de Ilha de Calor Urbano e sua relação com as características do espaço urbano, considerando que o estudo incidiu sobre dados do ano de 2013. A análise climática evidenciou a existência do Efeito de Ilha de Calor, apesar da pequena dimensão da cidade. As maiores intensidades foram registradas na classe de maior grau de urbanização. No verão a mediana da intensidade situou-se em torno de 1,5°C, embora possam ser observados valores máximos acima de 6°C enquanto no inverno a mediana caiu para menos que 1,0°C e os valores máximos não ultrapassaram 3,5°C. Os picos de intensidade de ilha de calor ocorreram poucas horas antes do nascer do sol, sendo que pela manhã observou-se o fenômeno de ilha de frio no espaço urbano.

**Palavras Chave**— clima urbano; monitorização; zonas climáticas locais; ilha de calor urbano; áreas urbanas.

## I. INTRODUÇÃO

O aumento da população em áreas urbanas conduz à conversão de áreas naturais em espaços urbanos, o que pode levar a problemas ambientais, uma vez que interfere no aumento de emissões atmosféricas e em maior liberação de calor de origem antropogênica [1]. Essas alterações nas condições do espaço urbano são características do clima urbano. O clima urbano é o resultado do efeito das modificações das superfícies, materiais e atividades das áreas urbanas sobre os balanços de energia, massa e fluxos [2] e, enquanto ciência, inclui o estudo de processos meteorológicos,

fenômenos atmosféricos e o clima em áreas que passaram por desenvolvimento urbano [3].

O Efeito de Ilha de Calor Urbano (EICU) é um dos fenômenos mais representativos da relação entre cidade e clima, sendo caracterizado por temperaturas mais elevadas nos espaços urbanos quando comparados com espaços rurais circundantes [2][4], como apresentado na Fig. 1, sendo o fenômeno mais representativo das modificações dos elementos climáticos [2][5].

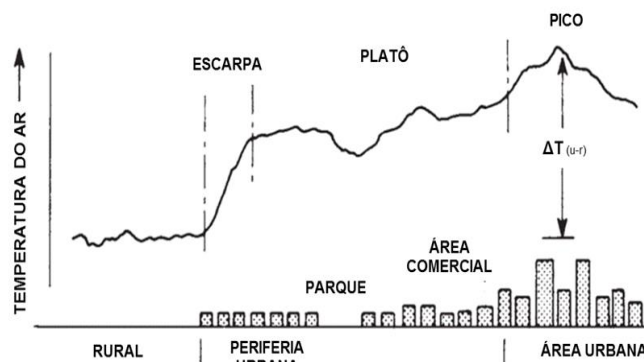


Fig. 1. Perfil típico do EICU. [2]

As diferenças de temperaturas são causadas pela combinação de um conjunto de fatores característicos do espaço urbano, relacionadas em grande medida com o balanço energético à superfície [6], que promovem a geração e acumulação de calor [4]. Entre esses fatores encontram-se a geometria dos edifícios, a poluição do ar, a emissão de calor a partir dos edifícios, tráfego e metabolismo dos organismos vivos e as características das superfícies, como os materiais de construção e de cobertura do solo [2][7].

Stewart e Oke [8] apresentam cinco fatores responsáveis pelo EICU, traduzidos em intensidades diferentes segundo o grau de urbanização:

- Maior absorção de radiação solar com retenção de calor pelos edifícios e superfícies.

- Maior retenção dos raios infravermelhos em ruas fechadas por edifícios, que causam menor visibilidade do céu.
- Maior retenção e menor liberação de calor dos edifícios e superfícies
- Alta fração de radiação solar convertida em calor sensível no lugar do calor latente, devido à troca de vegetação por pavimentos.
- Liberação de calor sensível e latente, devido à combustão dos automóveis, além dos processos industriais e relacionados ao aquecimento ou resfriamento de residências.

Como resultado desses processos, o EICU assume uma maior intensidade nos locais mais densamente urbanizados, onde predominam superfícies de baixo albedo e um menor fator de visão de céu. Nesses contextos, após o aquecimento no período diurno, dá-se uma menor liberação de calor no período noturno, enquanto a alta rugosidade de estruturas urbanas reduz a perda de calor por convecção e transferência por vento [2][4][5].

A variação espacial do EICU faz com que se deva promover estudos que estejam orientados para os diferentes espaços urbanos, conforme o conceito de Zona Climática Local (ZCL) [8][9]. Assim como para o espaço, o EICU também não é constante no tempo, variando amplamente ao longo do dia e normalmente atingindo intensidade máxima em períodos de maior estabilidade atmosférica em horário próximo ao nascer do sol, como resultado da acumulação de calor pelas estruturas urbanas durante a noite; essa intensidade pode ser enfraquecida em períodos de maior instabilidade, como vento, nebulosidade ou pluviosidade [4]. Dessa maneira, a forma e o tamanho do EICU variam temporalmente e espacialmente por conta das condições meteorológicas, das características urbanas em análise e da localização.

Como impacto do EICU, podem ser citados o conforto e a saúde dos habitantes, assim como o consumo de energia nas áreas urbanas por aquecimento ou resfriamento [9].

## II. METODOLOGIA

### A. Caracterização da Área de Estudo

Localizada no extremo nordeste de Portugal (Fig.2), a uma altitude média de 680 metros, Bragança tem altimetria com elevada complexidade e variações que podem atingir até 200 metros em pouca distância. Sua área urbana possui alta diversidade de tipologias de construções e a indústria é pouco representativa na cidade. A cidade é marcada por elevada complexidade orográfica, com grande variação de altitude, o que é comum em espaços montanhosos.

Sendo historicamente um núcleo urbano compacto, foi apenas a partir de meados do século XX que a cidade teve grande crescimento da população urbana e expandiu sobre um território mais amplo, intensificando as relações cidade-clima [10].

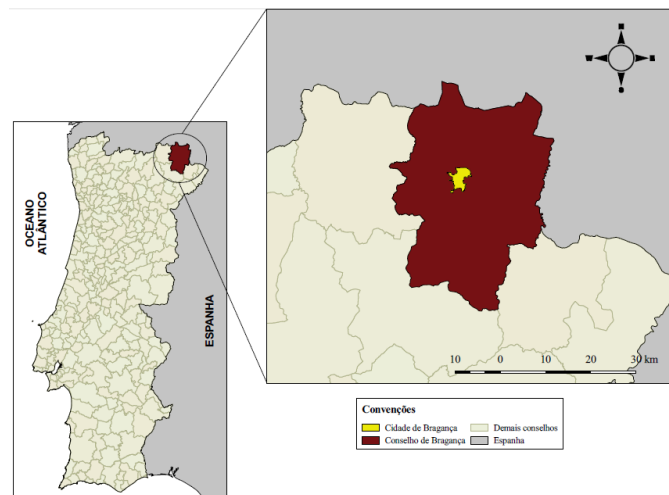


Fig. 2. Enquadramento geográfico de Bragança.

O clima nesta cidade apresenta grande amplitude térmica, sendo que a intensidade e a duração do frio e do calor são importantes indicadores do regime térmico [10]. Bragança é incluída no tipo de clima Csb da classificação de Köppen, correspondendo a um clima temperado com invernos suaves, verão seco e verão longo e fresco.

### B. Monitorização do Clima Urbano

A rede de monitorização integra sensores e estações meteorológicas para medição de temperatura, humidade relativa, velocidade e direção do vento. Esta rede inclui 23 sensores termo-higrómetros que foram dispostos de maneira a alcançar distribuição equilibrada do espaço, para além de três estações com anemómetro com catavento. Entre os fatores considerados nesta distribuição encontram-se a distribuição por contextos orográficos e topográficos diferenciados e a representatividade por ZCL como definida por Oke [11], com a inclusão de uma categoria referente aos espaços verdes urbanos. O resultado desta distribuição surge na Fig. 3 e corresponde às categorias:

**PMA** - Edificado moderno de altura média-alta, elevada densidade e superfícies pavimentadas.

**BDT** - Núcleo antigo da cidade, com edificado de altura média-baixa, elevada densidade, edificado em pedra e tijolo.

**UMR** - Média densidade, ruas de habitações de baixa altura em banda ou isoladas.

**ZCS** - Comercial e industrial, densidade média baixa com edifícios baixos e de elevada envergadura com estacionamento pavimentado.

**EVU** - Espaços verdes urbanos, cobertura predominantemente verde com vegetação rasteira e arbórea.

**TUR** - Espaço de transição entre o meio urbano e rural, casas dispersas com envolvente agrícola e florestal.

**ZRE** - Áreas rurais isoladas nos subúrbios da cidade representativas das características da paisagem local.

Foram alocados pelo menos três sensores em cada zona climática definida.



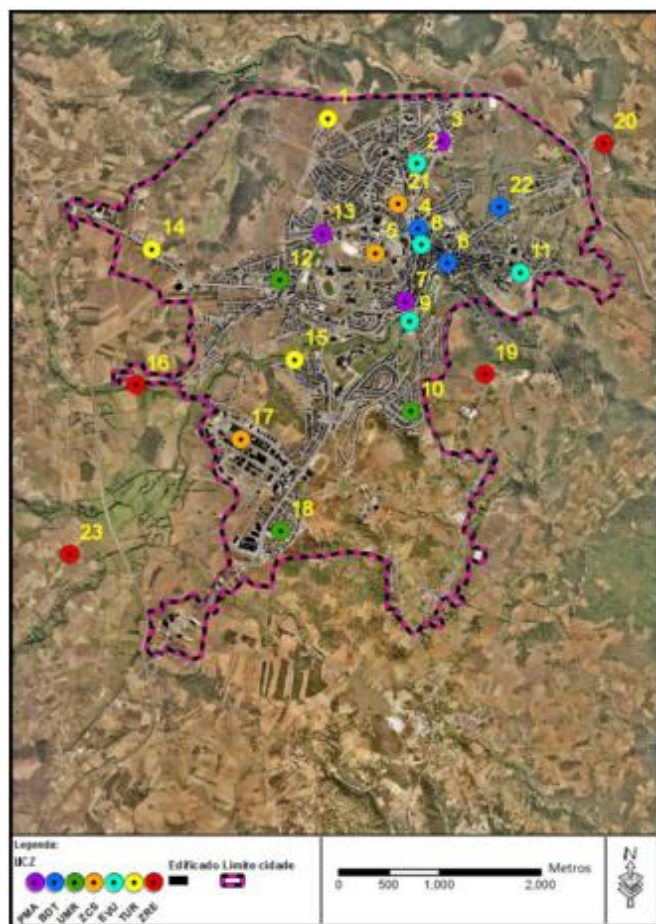


Fig. 3. Localização geográfica dos sensores de monitorização climática por classe. [10]

Os Termo-Higrómetros usados são modelo TinyTag TGP-4500 tendo sido instalados em abrigos a 3 metros acima do solo, em estruturas montadas em postes de iluminação pública.

Os dados obtidos foram convertidos para formato compatível e trabalhados de maneira a complementar a análise climática.

### C. Análise dos Dados

Os dados foram compilados, verificando a consistência dos dados a partir da identificação de lacunas e de erros. Para isso, os dados foram organizados em planilha anual no Excel, por estações. Ocorreu 1,89% de dados omissos nesse ano de estudo e as lacunas encontradas foram preenchidas com recurso ao método de regressão linear automática do software SPSS Statistics. O teste de correlação de Pearson comprovou que os pontos são significativamente correlacionados entre si, o que traz consistência ao preenchimento por regressão linear.

Como forma de permitir corrigir a influência do efeito do gradiente vertical, os dados foram previamente ajustados, por correção do diferencial face ao gradiente térmico vertical médio horário com referência nos pontos rurais 19 e 23 para evitar interferências do ambiente [6]. O objetivo dessa correção foi retirar o efeito da altitude dos dados, nivelando a 680m, nível médio de Bragança, a partir de (1).

$$T_{\text{final}} = T_{\text{inicial}} - [\tau_{\text{calculado}} * (H-680)] \quad (1)$$

Em que:  $T_{\text{final}}$ : Temperatura após correção ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\text{inicial}}$ : Temperatura antes da correção ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\tau_{\text{calculado}}$ : Gradiente vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ );  $H$ : Altura do ponto (m).

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definir as zonas climáticas entre zonas urbanas e rurais permitiu avaliar os efeitos das estruturas urbanas nas condições meteorológicas locais. Dessa forma, o EICU foi avaliado considerando a média dos sensores de cada zona climática e sua intensidade foi observada baseado nas diferenças das ZCLs urbanas frente à rural ( $\Delta_{\text{urbano-rural}}$ ).

A Fig. 4 apresenta a variação da intensidade do EICU nas diferentes ZCLs, permitindo observar valores mais elevados na classe urbana mais densa (PMA), com valores de EICU que chegam a ultrapassar  $6^{\circ}\text{C}$  no verão, sendo possível perceber esse fenômeno também no período de inverno, o que torna o EICU relevante. Em países europeus é comum se observar intensidades acima de  $4^{\circ}\text{C}$  para cidades de média dimensão [12], o que mostra que a cidade, apesar de dimensão relativamente pequena, apresenta comportamento análogo a cidades de maior dimensão.

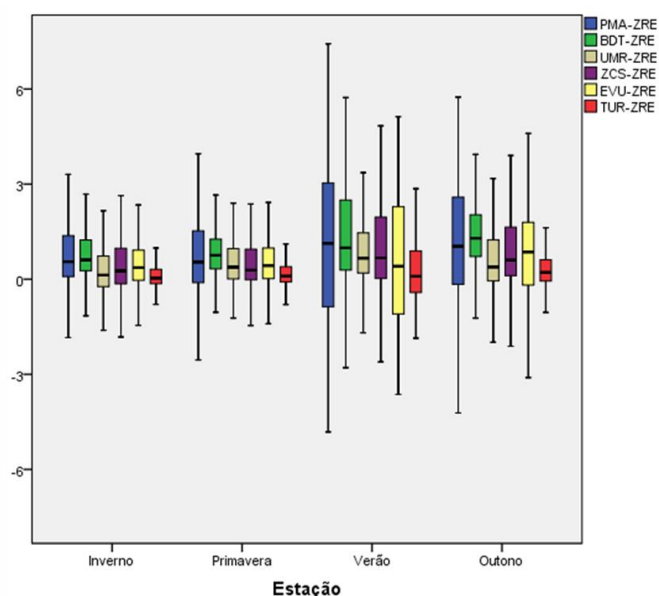


Fig. 4. Distribuição dos valores médios horários na diferença de temperaturas entre as zonas climáticas urbanas e rural para as estações do ano.

É possível perceber que a classe BDT apresenta medianas mais elevadas (exceto no verão que a maior mediana ocorre na classe PMA), com maior mediana no outono. Porém os valores máximos e mínimos foram registrados na época do verão. A classe PMA, espaços com um maior grau de urbanização, destaca-se pelas maiores intensidades do EICU, com registro de valores acima de  $6^{\circ}\text{C}$  e abaixo de  $-4^{\circ}\text{C}$ . Em contrapartida, os espaços de transição entre área urbana e rural (TUR), apresentaram os valores menos intensos para o EICU.

A Fig. 5 representa uma variação temporal do EICU para as ZCLs: PMA, UMR e TUR. Esta representação permite uma

análise descritiva ao longo do dia no decorrer dos meses para essas zonas climáticas.

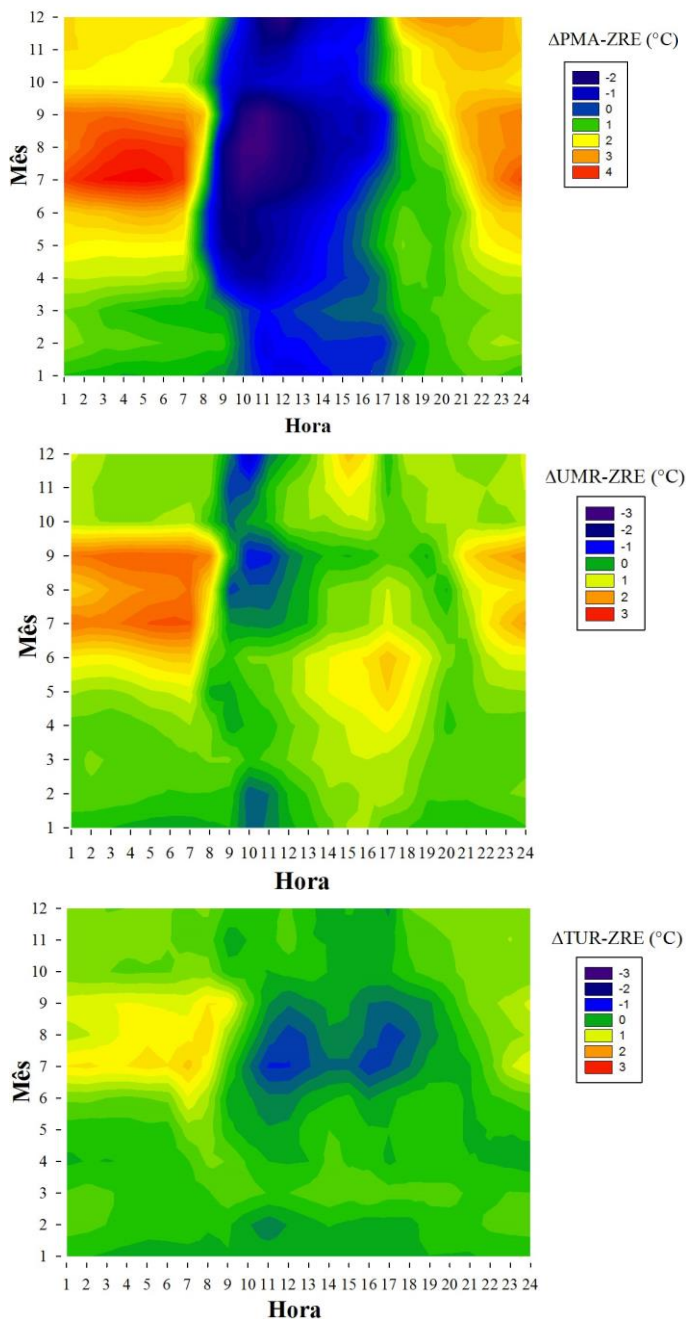


Fig. 5. Variação horária e mensal da intensidade média do EICU:  $\Delta PMA-ZRE$ ;  $\Delta UMR-ZRE$ ;  $\Delta TUR-ZRE$ .

Características urbanas aliadas a diferenças nas estruturas e a presença de vegetação influenciam para que ocorram microclimas no mesmo espaço urbano e se gerem ilhas de calor e de frio com intensidades variáveis ao longo do ano [13].

Os resultados demonstram a presença de efeitos diferenciados ao longo do dia e do ano, após o amanhecer e durante as primeiras horas da manhã. O aquecimento ocorre mais rapidamente na zona rural, o que, por oposição, leva ao efeito de ilha de frio urbano, com maior intensidade na zona

climática PMA. Este efeito pode associar-se à baixa elevação do sol no início do dia, criando um ambiente com sombra nas áreas mais densamente urbanizadas. Esse efeito diminui ao longo da manhã até que se torna neutro, momento após o qual o saldo se torna positivo para as ZCL urbanas. O efeito de ilha de calor começa então a formar-se, incrementando-se depois do pôr do sol, apresentando os valores mais elevados antes do nascer do sol em todas as estações do ano, mas com maior intensidade durante o verão.

O EICU assume maior intensidade em condições de céu limpo [2], por isso registam-se valores mais elevados no verão, quando a cidade de Bragança apresentou condições meteorológicas mais propícias à formação desse fenómeno.

No clima temperado Csb, a ilha de calor urbana é considerada benéfica no inverno e prejudicial no verão, mas seu efeito global no conforto, saúde e energia de consumo precisa de avaliações que ajudem a tomar decisões que possam aumentar ou reduzir o efeito de calor urbano, tanto no verão como no inverno [9], uma vez que os espaços construídos devem amenizar as sensações de desconforto impostas pelas condições externas e proporcionar ambientes favoráveis para a realização satisfatórias das atividades dos usuários [14]. Em períodos quentes, o EICU agrava o desconforto térmico interno e externo e, uma vez que ocorre em maior frequência no período noturno, pode levar a dificuldades para descansar e recuperar do stress causado pelo calor. Assim, a utilização de ar condicionado no verão acaba por ser mais custosa quando comparado com o uso de aquecedores no inverno, e do ponto de vista de economia e conforto, os prejuízos do verão são mais significativos que os benefícios do inverno [9].

O EICU é menor no período do inverno por conta da instabilidade atmosférica percebida na região, como uma maior quantidade de dias com chuva e vento forte, para além de uma menor duração dos dias.

A classificação do clima Csb determina o predomínio de baixas temperaturas em grande parte do ano, com valores abaixo do nível de conforto e no período mais quente, valores acima desse referencial.

Partindo desse princípio, deve-se preservar os espaços verdes ou zonas com maiores áreas permeáveis, que podem constituir-se como áreas frescas nos períodos em que as temperaturas são mais altas. Nesses espaços, a vegetação arbórea é útil em meses mais quentes, pela capacidade de interceptar a radiação de pequeno comprimento de onda, diminuindo os efeitos sobre o balanço radiativo à superfície e atenuando sua incidência direta sobre os cidadãos. A vegetação de folha caduca oferece maior incidência de radiação nos meses mais frios, com benefícios para o conforto térmico dos utilizadores.

Os espaços de maior concentração urbana, em que o EICU assumiu maior intensidade, devem ser melhorados pelo planeamento das estruturas urbanas. Particular atenção deve merecer a relação destas estruturas com o vento, a água e a humidade, os elementos da vegetação e os materiais de construção. Os espaços que ainda não apresentam alterações significativas no clima, nomeadamente, os espaços em que os elementos urbanos causam menor impacto nas características do ambiente térmico, devem ser acompanhados, sendo menor a necessidade de intervenção.



A Fig. 6 apresenta as variações horárias de taxa de aquecimento ou arrefecimento por hora para as zonas climáticas estudadas, sendo que os valores positivos indicam aquecimento enquanto os valores negativos indicam arrefecimento. Os dados indicam o aquecimento matinal mais rápido da zona rural (ZRE) face às ZCL urbanas, principalmente no verão, quando se verifica um arrefecimento acima de 2°C/h de diferença em comparação com a classe PMA. Esta mesma classe (PMA) é a que permanece por mais tempo a armazenar calor e durante a noite apresenta valores mais baixos de arrefecimento por hora, enquanto a zona ZRE apresenta os maiores valores de taxa de arrefecimento por hora no período noturno. Para todas as classes foi possível observar o período de máximo arrefecimento entre as 16h00 (inverno) e as 20h00 (verão), correspondendo ao período próximo do pôr do sol.

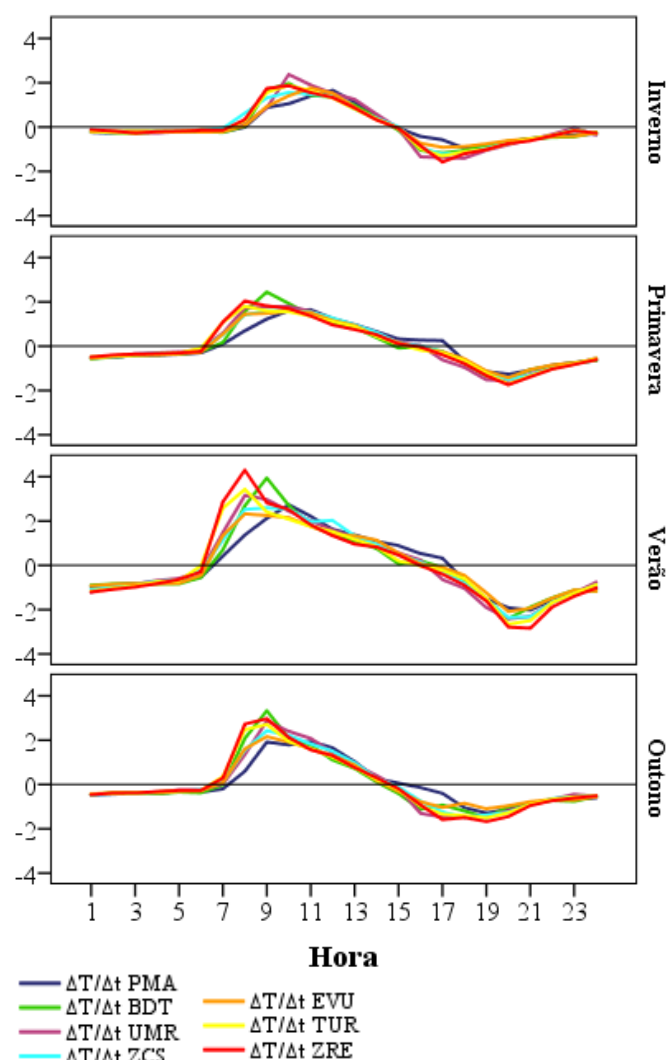


Fig. 6. Taxa média sazonal de aquecimento e arrefecimento por hora para cada zona climática (°C/h).

Este estudo corrobora os resultados encontrados por Lopes [12] em que as condições térmicas de áreas urbanas e rurais são diferentes. Ao fim do dia, a temperatura decresce mais rapidamente em meio rural por conta do mais intenso

arrefecimento radiativo, sendo que em áreas urbanas esse arrefecimento é mais lento.

Além disso, Tan et al. [15] afirmam em seu trabalho que variações horárias acima de 4°C podem causar problemas à saúde humana, porém essa variação foi pouco observada, ocorrendo apenas no verão para a classe ZRE.

De acordo com Rizwan [4], algumas medidas de mitigação dos Efeitos de Ilha de Calor com benefícios ambientais e financeiros estão relacionadas a três fatores:

1. À redução da libertação de calor antropogênico: através, por exemplo, da introdução de áreas verdes. Parte da radiação solar incidente é convertida em energia para transpiração e fotossíntese das plantas, tornando menor o fluxo de calor sensível [17] e pode levar a grandes economias de energia através da redução da temperatura da área. Esta medida contribui para um menor uso de aparelhos de ar condicionado.
2. Ao melhor design do telhado: uma vez que os telhados verdes, os de alta reflexão e paredes verdes são bons exemplos de planeamento da construção para redução do EICU [16].
3. A outros fatores de design: como o uso de materiais de alto albedo, que são capazes de reduzir a quantidade de radiação solar absorvida pela envolvente dos edifícios e estruturas urbanas, mantendo as superfícies mais frias. Isso reduz a intensidade da radiação de grande comprimento de onda, podendo diminuir a temperatura do ar pelo baixo fluxo de calor convectivo das superfícies mais frias [18].

#### IV. CONCLUSÃO

Os dados da rede de monitorização na cidade de Bragança permitiram avaliar o efeito de ilha de calor urbano. A partir desse estudo foi possível verificar a ocorrência de um fenómeno de ilha de frio nas primeiras horas do dia e de ilha de calor com máxima intensidade poucas horas antes do nascer do sol, especialmente durante o verão. Esses resultados são coerentes com os resultados encontrados por Maia [6], que realizou estudo semelhante para a mesma área com dados referentes ao ano de 2012. Em 2013, a zona mais urbanizada (PMA) sofreu esse efeito de forma ainda mais intensa, chegando a um valor máximo acima de 6°C no verão, em contraste com a zona menos urbanizada que apresentou valor máximo na faixa de 3°C. Genericamente, a cidade apresenta alguma variabilidade no perfil de EICU, com zonas tendencialmente mais quentes e mais frescas, sendo estes efeitos resultantes de uma variedade de microclimas característicos desse espaço urbano.

#### REFERÊNCIAS

- [1] C. Grimmond *et al.*, "Climate and more sustainable cities: Climate information for improved planning and management of cities (Producers/Capabilities Perspective)," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 247–274, 2010.
- [2] T. R. Oke, *Boundary layer climates*. 2nd ed. Routledge, 1987.
- [3] T. R. Oke, "Towards better scientific communication in urban climate," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 84, no. 1–3, pp. 179–190, 2006.

- [4] A. M. Rizwan, L. Y. C. Dennis, and C. Liu, "A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island," *J. Environ. Sci.*, vol. 20, no. 1, pp. 120–128, 2008.
- [5] J. F. He, J. Y. Liu, D. F. Zhuang, W. Zhang, and M. L. Liu, "Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 90, no. 3–4, pp. 217–226, Nov. 2007.
- [6] F. M. da C. Maia, "Caracterização da ilha de calor urbano de Bragança." Universidade de Aveiro, 2013.
- [7] I. N. Harman, M. J. Best and S. E. Belcher, "Radiative exchange in an urban street canyon," *Boundary-Layer Meteorology*, vol. 110, pp 301–316, 2004.
- [8] I. D. Stewart and T. R. Oke, "Local climate zones for urban temperature studies," *Am. Meteorol. Soc.*, pp. 1879–1900, 2012..
- [9] B. Givoni, *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Canadá: John Wiley & Sons, 1998.
- [10] A. Gonçalves, A. C. Ribeiro, F. Maia, and M. Feliciano, "Análise do Clima Urbano de Bragança." Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2014
- [11] T. R. Oke, "Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites," *World Meteorol. Organ.*, vol. 81, 2006.
- [12] A. Lopes, "O sobreaquecimento das cidades. Causas e medidas para a mitigação da ilha de calor de Lisboa," *Territorium*, no. 15, pp. 39–52, 2006.
- [13] E. Collischonn, "O fator de visão do céu e sua influência sobre as características térmico-higrométricas intraurbanas em pelotas/RS, BRASIL," *Geogr. Merid.*, vol. 1, no. 1, pp. 160–178, 2015.
- [14] G. Barbirato, L. Souza, and S. Torres, *Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos - Gianna Melo Barbirato, Léa Cristina Lucas de Souza, Simone Carnaúba Torres - Google Livros*. Alagoas: UFAL, 2007.
- [15] J. Tan *et al.*, "The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai," *Int. J. Biometeorol.*, vol. 54, pp. 75–84, 2010.
- [16] H. Takebayashi and M. Moriyama, "Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 8, pp. 2971–2979, 2007.
- [17] N. H. Wong and C. Yu, "Study of green areas and urban heat island in a tropical city," *Habitat Int.*, vol. 29, no. 3, pp. 547–558, 2005.
- [18] H. Taha, "Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat," *Energy Build.*, vol. 25, pp. 99–103, 1997

# Estudo do potencial de aplicação de um sensor de baixo custo para medição de metano em áreas urbanas

## Ensaio Preliminares

(1) Leonardo Campestrini Furst  
Escola Superior de Agrária  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
leonardofurst@gmail.com

(3) Laercio Mantovani Frare  
Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Medianeira, Brasil  
laercio@utfpr.edu.br

(2) Manuel Feliciano  
Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA,  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
msabenca@ipb.pt

(4) Getúlio Igrejas  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
igrejas@ipb.pt

**Abstract**— *Methane is one of the most important greenhouse gases present in the atmosphere. Its concentration in the atmosphere has grown rapidly in the last centuries, mainly due to anthropogenic activities. It is also the largest constituent of natural gas and its transport in the urban environment is performed by an extensive pipeline network, which may have leakages due to hydraulic fittings and the material that are constituted. In this work the TGS2600 sensor was used to analyze the potential application of a low cost sensor for measurement of methane at low concentrations in the urban environment. The sensor showed a high dependence on temperature and humidity and compared to other sensors used in the study, the TGS2600 showed a good response to the presence of methane.*

**Keywords**—*Methane; Gas sensor; Low Cost; Greenhouse Gases.*

**Resumo**— *O metano é um dos principais gases de efeito de estufa presente na atmosfera. A sua concentração na atmosfera cresceu rapidamente nos últimos séculos decorrente principalmente de atividades antropogénicas. Também é o maior constituinte do gás natural, cujo transporte em ambiente urbano é realizado por uma extensa rede de tubulações, que podem apresentar fugas em virtude dos acessórios hidráulicos e do material que os constituem. Neste trabalho fez-se uso do sensor TGS2600 para analisar o potencial de aplicação de um sensor de baixo custo para medição de metano a baixas concentrações no ambiente urbano. O sensor demonstrou ter uma elevada dependência da temperatura e humidade e comparativamente a outros sensores utilizados no estudo o TGS2600 apresentou uma boa resposta à presença de metano.*

**Palavras-chave**—*Metano; sensor de gás; baixo custo; gases de efeito de estufa.*

## I. INTRODUÇÃO

Grande parte do aumento da temperatura média do ar, ocorrida nos últimos duzentos anos, teve como causa atividades humanas e, conseqüentemente, a elevação das concentrações na atmosfera dos denominados gases de efeito de estufa, dos quais

se destacam o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Tais gases possuem a característica de absorverem a radiação reemitida pela superfície terrestre, localizada na gama dos infravermelhos, reduzindo a percentagem de radiação que é devolvida para o espaço e amplificando o efeito de estufa [1].

Dos gases de efeito de estufa, o  $\text{CH}_4$  é o terceiro gás mais importante [2-3]. Possui um tempo de vida de 12 anos com um Potencial de Aquecimento Global (PAG) 86 vezes maior que o  $\text{CO}_2$  para um horizonte de 20 anos e de 34 vezes para um horizonte de 100 anos [4]. Adicionalmente o  $\text{CH}_4$  é um dos precursores da formação de ozono troposférico ou superficial, que atua como um forte oxidante prejudicando a saúde humana e o ambiente [5-6].

Entre os anos de 1750 a 2011 ocorreu um aumento da concentração global de metano num fator de 2,5 vezes, devido principalmente a atividades antropogénicas, como a criação de gado; a expansão das culturas de arroz; as emissões gasosas de aterros sanitários e a extração, produção e utilização de combustíveis fósseis. Estima-se ainda que 30% das emissões totais – antropogénicas e naturais – são provenientes de fugas geológicas e perdas na cadeia de produção de gás natural [4].

Em Portugal a utilização de gás natural iniciou-se no ano de 1997 com vista à produção de energia e utilização industrial. Posteriormente teve-se a expansão do serviço para o setor comercial, agrícola e doméstico. Todo o gás utilizado no país é importado da Argélia, transportado por navios metaneiros, não existindo qualquer estação de extração e produção. Neste contexto, a cadeia de produção de gás natural Portuguesa envolve apenas os estágios de transporte, armazenamento e distribuição. Anualmente, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em respeito ao Protocolo de Quioto e à Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, publica um inventário nacional dos gases de efeito de estufa contendo a quantificação das emissões antropogénicas e remoções de gases de efeito de estufa em Portugal, incluindo as

emissões de metano do setor de gás natural [7]. Na Figura 1 encontram-se representadas as emissões de metano para Portugal referentes ao período de 1997 a 2015. Nela é possível observar que as maiores emissões envolvem a etapa de distribuição, que consiste basicamente na rede de tubulações e equipamentos hidráulicos que realizam o transporte entre as empresas distribuidoras e o consumidor final [8].

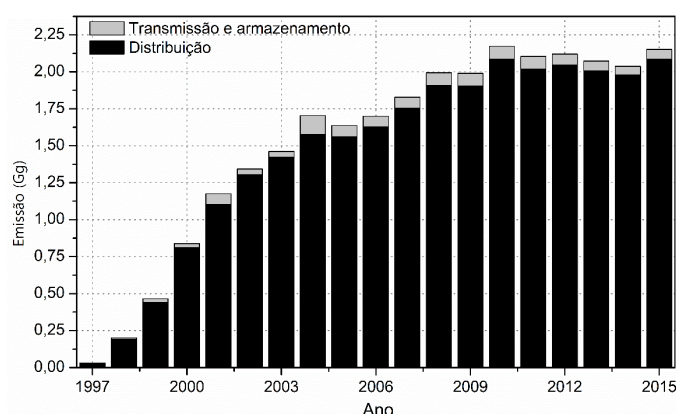


Figura 1 - Emissões de metano na cadeia de produção de gás natural de Portugal, contabilizadas desde 1997, ano em que se iniciou a utilização de gás natural [7].

A elevada quantidade e variedade de acessórios hidráulicos presente nos gasodutos, como ligações, flanges e válvulas possuem uma elevada probabilidade de apresentar perdas de gás, devido principalmente a uniões entre os acessórios e vedações que muitas vezes não garantem o isolamento total do sistema, constituindo pontos frágeis do mesmo [9-10].

Vazamentos e rompimentos na rede urbana de distribuição de gás natural podem gerar graves acidentes, que podem ir desde graves explosões a sérias lesões em pessoas ou danos nas estruturas públicas e particulares. Neste sentido, a análise de risco sobre esse sistema e a quantificação de vazamentos é de extrema importância para evitar que estes acidentes ocorram [11].

Estudos realizados nas ruas das cidades de Washington e Boston nos Estados Unidos [12-13], identificaram um elevado número de vazamentos de metano na rede de distribuição urbana de gás natural, associados principalmente à presença de tubulações antigas fabricadas com ferro fundido. Adicionalmente, vazamentos geram grandes perdas económicas e contribuem consequentemente para o aumento dos custos de utilização de gás natural pelos consumidores finais, para além dos custos ambientais e do risco para as pessoas [12-13].

Várias tecnologias são utilizadas na detecção de poluentes atmosféricos. Os mais tradicionais envolvem métodos óticos, colorimétricos e cromatográficos (e.g. espectrometria de massa, a espectrometria de absorção atómica e a cromatografia gasosa). Normalmente, estes métodos necessitam de equipamentos dedicados de grandes dimensões, de elevado custo, operação complexa e, geralmente, uma preparação da amostra para análise, mas que garantem resultados de elevada fiabilidade. Além destes, utiliza-se frequentemente sensores NDIR (*nondispersive infrared*), TDLAS (*tunable diode laser absorption spectroscopy*), catalíticos e semicondutores para a medição de gases, nomeadamente o CH<sub>4</sub> [14-16]. Nenhuma destas tecnologias garante a resolução pretendida para o estudo,

visto que a maioria dos sensores disponíveis comercialmente não possuem gama de medição específica para baixas concentrações. Existem, no entanto referências na literatura científica sobre a possibilidade de utilização de sensores semicondutores na medição de concentrações muito baixas de metano [2,17]. Este facto aliado ao custo reduzido, às suas pequenas dimensões e à sensibilidade indicadas na literatura contribuíram para a seleção do sensor no âmbito deste trabalho. É, no entanto, importante realçar que estes sensores apresentam algumas limitações de funcionamento que requerem cuidados especiais na fase de projeto. Desde logo, observa-se normalmente uma baixa reprodutibilidade das medições e uma instabilidade no sinal, causada principalmente por alterações na estrutura do sensor em virtude do envelhecimento, aquecimento e/ou decorrente de reações químicas com compostos diferentes das substâncias alvo do sensor. Em alguns casos apresentam ainda uma dependência da temperatura e da humidade relativa [15-16].

Neste trabalho estudou-se o potencial de aplicação de um sensor de baixo custo para medição das concentrações de gás metano na cidade de Bragança, avaliando a sua sensibilidade na presença de metano e analisando o seu comportamento com a variação da temperatura e humidade ao longo do tempo. Também são apresentados os resultados de alguns testes preliminares qualitativos realizados.

## II. METODOLOGIA

### A. Descrição e caracterização do sistema

O sistema desenvolvido (Figura 2) é baseado na plataforma Arduino (Arduino Mega) e integra: um sensor de metano de baixo custo (TGS2600), um sensor de temperatura, um sensor de humidade relativa, um sensor barométrico, um módulo GPS e um módulo de comunicações GSM/GPRS. Além disso foram incorporados outros dois sensores de metano (TGS2611 e TGS6811) para efeitos de comparação e da possibilidade da sua utilização como sensores alternativos/complementares. Apesar de os sensores serem passivos, instalou-se um ventilador para forçar o ar ambiente a circular sobre os mesmos.

A plataforma Arduino Mega trata-se de uma plataforma de código aberto (*open source*) permitindo o desenvolvimento de diversas aplicações de *software* e *hardware*. Em relação a outras plataformas de prototipagem rápida do mesmo fabricante, o Arduino Mega possui a vantagem de conter maior número de portas de entrada/saída - 54 entradas digitais, 16 analógicas - permitindo consequentemente a conexão com um maior número de periféricos. A placa é baseada no microcontrolador Atmega2560 de 8bits e 256 KB de memória flash para armazenamento do código. As entradas analógicas estão conectadas a um conversor Analógico/Digital (A/D) com uma resolução de 10bits, podendo operar a diversas tensões de referência, internas ou externas [18-19].

A escolha recaiu no TGS2600 porque apresenta uma gama de detecção para o metano abaixo dos 100 ppm, considerada ideal para o estudo proposto e confirmada pelos resultados obtidos nos estudos realizados em Washington [13] e Boston [12], os quais apresentaram valores de concentração de metano no ambiente urbano na gama de 2,5 a 90 ppm.

Complementarmente Eugster e Kling [17], utilizaram este mesmo sensor em medições das concentrações de metano no lago Toolik, no Alasca, verificando que o sensor foi capaz de identificar concentrações de metano atmosférico abaixo dos 2 ppm.

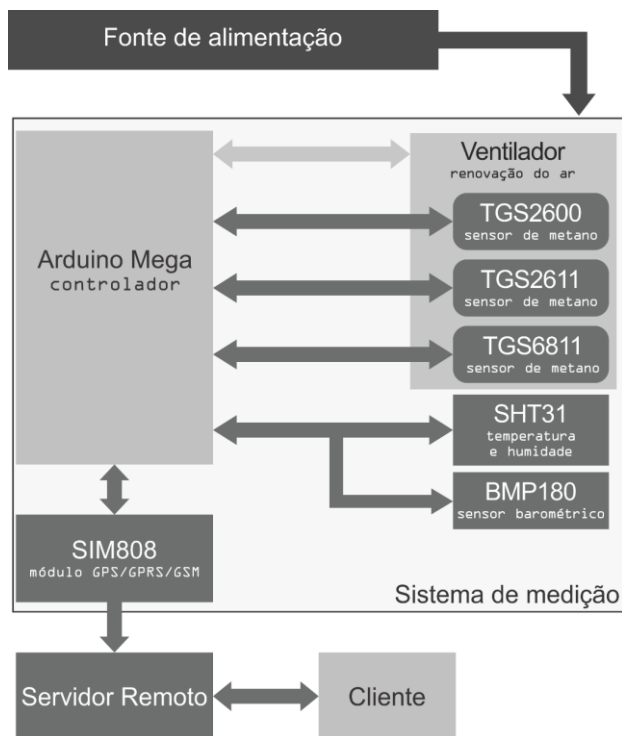


Figura 2 – Diagrama de blocos do sistema de medição apresentando o sistema completo e as relações entre as partes.

O TGS2600 é um sensor de baixo consumo e alta sensibilidade para os gases metano, monóxido de carbono, iso-butano, etano e hidrogénio. O sensor é um dispositivo semiconductor baseado em óxidos metálicos, possuindo como material de detecção o dióxido de estanho ( $\text{SnO}_2$ ) e uma resistência de aquecimento fabricada a partir do dióxido de ruténio ( $\text{RuO}_2$ ) [20]. Esta resistência é responsável pelo aquecimento do sistema a uma temperatura elevada à qual a detecção do gás é possível de ser realizada, em resultado das alterações de resistência provocadas no detector. A temperatura ideal para a detecção do metano encontra-se nos  $400^\circ\text{C}$  e para o monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ) nos  $90^\circ\text{C}$ . A medição simultânea dos dois gases requer ciclos termostáticos de aquecimento e arrefecimento do sensor para atingir a temperatura ideal [21].

A detecção de gases por este sensor baseia-se em variações no valor da resistência originadas por reações químicas – adsorção, oxidação, difusão – que ocorrem entre a superfície do eléctrodo e o ar ambiente. Com o aumento da temperatura, ocorre a adsorção do oxigénio atmosférico sobre a superfície cristalina do eléctrodo na forma de íões  $\text{O}_2^-$ , formando uma espécie de barreira que impede a circulação de electrões, aumentando a resistência do sistema. Conforme o sensor é exposto ao gás de interesse, ocorre uma reacção de oxidação envolvendo o gás e o ião  $\text{O}_2^-$  de modo a libertar o ião óxido que estava ligado à superfície, aumentando o fluxo de electrões e diminuindo a resistência do sensor [22-23]. Na Figura 3 é apresentado o circuito utilizado para o estudo.

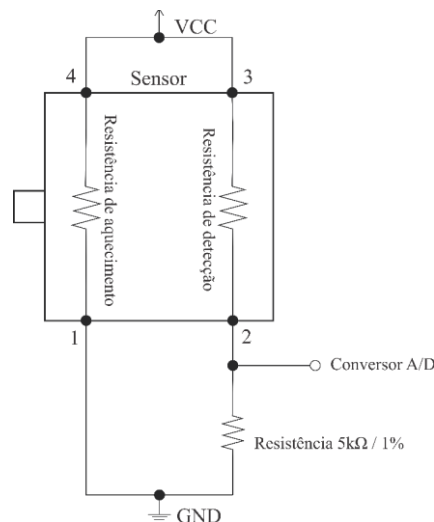


Figura 3 – Circuito utilizado no estudo. Utilizou-se uma resistência de precisão de  $5\text{k}\Omega$  como referência para conversão do sinal de tensão em resistência.

Com o intuito de verificar o comportamento do sensor e analisar a possibilidade de utilização como elemento sensorial foram testados dois outros sensores de baixo custo que apesar da indicação do fabricante como potencialmente inadequados na gama de concentração de interesse deste trabalho, também se encontram indicados em alguns trabalhos como tendo sido capazes de realizar medições de baixas concentrações de metano. Foram eles o TGS2611-C00 e o TGS6810. O TGS2611-C00 é um sensor semiconductor sensível ao etanol, hidrogénio, iso-butano e metano, enquanto que o TGS6811 é um sensor catalítico sensível ao metano, iso-butano e propano.

Para a mensuração da temperatura e humidade do ar utilizou-se o sensor Sensirion SHT31-D de elevada precisão e sinal de baixo ruído. O sensor é capaz de realizar medições de temperatura na gama de  $-40^\circ\text{C}$  a  $125^\circ\text{C}$  com uma resolução de  $0,015^\circ\text{C}$  num tempo de resposta mínimo de 2s. Em relação à humidade a gama de medição encontra-se entre 0 e 100% com uma resolução de 0,01% e um tempo de resposta de 8s. Apesar da gama de temperatura e humidade apresentadas, o fabricante recomenda para aquisição de resultados com maior precisão a operação do sensor em temperaturas entre 5 a  $60^\circ\text{C}$  e humidade entre 20 a 80% [24]. A utilização deste sensor justifica-se pela necessidade de compensação do sensor de metano TGS2600 com a variação da temperatura e humidade indicadas pelo fabricante na sua ficha de especificações técnicas.

A pressão atmosférica foi medida por meio do sensor barométrico BMP180 de baixo consumo e pré-calibrado. O sensor opera a temperaturas entre  $-40$  e  $85^\circ\text{C}$ , com precisão elevada na gama de 0 a  $65^\circ\text{C}$ . Possui uma resolução de 0,01 hPa e precisão de  $\pm 0,12$  hPa com tempo de resposta que varia entre 3 a 17 ms em função da resolução desejada [25].

Para aquisição da posição geográfica e para a comunicação do dispositivo com o servidor remoto, recorreu-se a o módulo SIM808 GPS/GPRS/GSM, o qual integra um sistema GPS e tecnologia de comunicações móveis GPRS/GSM que permite, com a utilização de um cartão SIM, o envio de dados por meio da rede móvel para um servidor remoto. O módulo GSM pode funcionar nas bandas de frequência de 850/900/1800/1900 MHz e o GPS possui 66 canais de aquisição e 22 de rastreamento



proporcionando uma precisão horizontal menor que 2,5 m - erro circular provável [26].

### B. Testes preliminares

As leituras dos sensores de metano foram realizadas através do conversor A/D integrado na plataforma usando uma tensão de referência de 5V e uma taxa de amostragem de 2s. Os dados dos sensores foram recolhidos com igual período de amostragem recorrendo à porta de comunicação digital SPI do dispositivo.

Os testes realizados visaram avaliar a capacidade de o sensor medir metano em ambientes de concentrações reduzidas, bem como a sua dependência em relação à temperatura e humidade referidas pelo fabricante. Neste sentido, foram realizados ensaios de calibração com concentrações conhecidas de metano e no estábulo de ovinos da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança. A seleção do estábulo é justificada por se considerar a presença de metano nestes locais, resultante da acumulação de dejetos sobre a superfície. Os resultados obtidos por Vac *et al* [27] referem um fluxo médio de metano para dejetos de ovinos de  $3.782 \text{ g.m}^{-2}\text{d}^{-1}$  com a utilização de uma câmara estática.

O ensaio de calibração foi realizado, por meio da utilização de um padrão de metano de 744 ppm e de ar de diluição 21% de oxigénio e 79% de azoto. Para a mistura dos gases nas diferentes concentrações utilizou-se o sistema de calibração MCZ-MK5. Com esses dados foi possível a construção da curva de calibração, apresentada na Figura 5, a qual foi usada posteriormente para a conversão dos valores de resistência em concentração de metano (ppm).

No estábulo foram conduzidos ensaios no dia 20 de abril de 2017 com duração de 35 minutos e início às 15:55, usando apenas o sensor TGS2600, e no dia 21 entre as 13:45 e 14:45 utilizando todos os sensores de metano disponíveis. Os resultados obtidos são apresentados nas Figuras 6 e 7. Para estes testes optou-se por apresentar os resultados normalizados relativamente ao valor máximo obtido durante o período de ensaio. Isto deve-se a, há data dos ensaios, não existir informação que permitisse a calibração do sensor, pelo que qualquer indicação de valor da concentração seria afetado de erro. Atendendo a que nesta fase, o objetivo era aferir a sensibilidade ao metano, a representação dos dados nesta forma permite cumprir com este objetivo.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio completo de calibração encontra-se na Figura 4, na qual se pode observar a variação da resistência do sensor com as mudanças da concentração do metano. É possível perceber que o valor da resistência sofreu alterações mesmo quando a humidade e temperatura se mantiveram constantes, indicando uma resposta do sensor ao metano. Com o ensaio de calibração, foi possível construir uma curva de calibração relacionando o valor médio da resistência do sensor para o período da medição a cada concentração. Os resultados dos valores médios da resistência em função da concentração de metano e a equação de ajuste são apresentados na Figura 5.

Como o sensor não responde linearmente a alterações na concentração de metano, aplicou-se um ajuste logarítmico,

obtendo-se um elevado coeficiente de determinação ( $R^2$ ), indicador que a equação resultante possui elevada representatividade para o fenómeno.

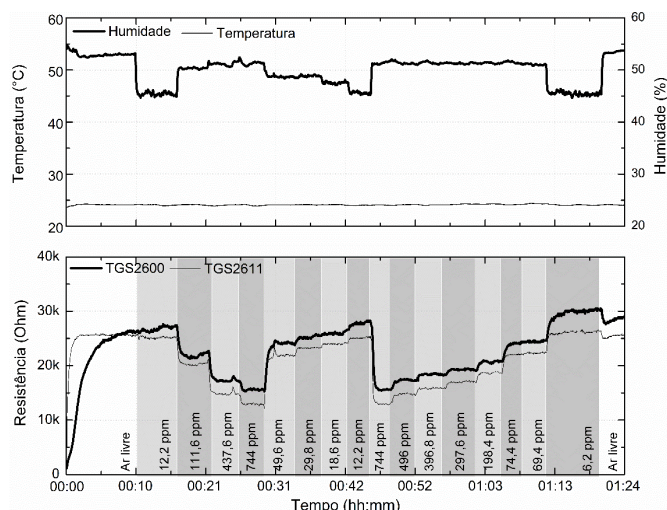


Figura 4 – Ensaio completo de calibração com a evolução da temperatura e humidade ao longo do tempo para cada concentração usada.

As amostragens no estábulo são apresentadas nas Figuras 6 e 7. Na Figura 6 apresentam-se os resultados obtidos pelo TGS2600. Após a fase de arranque, necessária para promover o aquecimento do sensor, o sistema foi colocado ao ar livre durante um período de 5 minutos. Após este período aproximou-se o sensor da fonte de metano resultando numa elevação do sinal. O sensor foi mantido durante alguns minutos no interior do estábulo e aos 16 minutos foi novamente posicionado ao ar livre por um período de cerca de 10 minutos. Durante este período o sensor voltou aos valores inicialmente apresentados para o mesmo local. Nos testes realizados, identificou-se um tempo de regeneração do sensor que variou entre 3 e 8 minutos. Após a recuperação do dispositivo, repetiu-se o ciclo de amostragem no estábulo, verificando-se novamente a elevação do sinal, desta vez com níveis superiores aos observados na primeira medição. Acredita-se que a variação do sinal observada entre os dois ciclos foi causada pela instabilidade da atmosfera dentro do estábulo, uma vez que a produção de metano não é uniforme sobre a superfície e as instalações possuem aberturas que promovem a circulação do ar de maneira não homogênea.

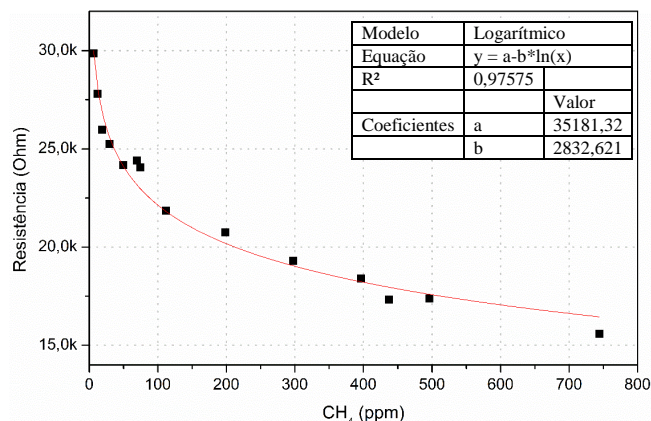


Figura 5 – Curva de calibração da reta baseada no modelo logarítmico para o sensor TGS2600.



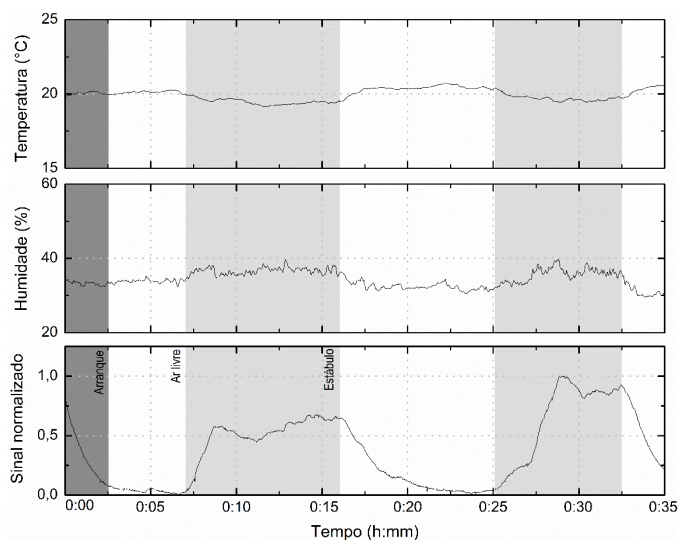


Figura 6 – Ensaio realizado com o TGS2600 no dia 20 de abril, com a identificação dos intervalos de amostragem no estábulo e ao ar livre e as variações de temperatura e humidade relativa do ar.

No ensaio com todos os sensores no estábulo (Figura 7), a aquisição de dados foi realizada em ciclos de exposição ao ar livre e exposição a atmosfera do estábulo. Percebe-se que os três sensores de metano apresentaram comportamento semelhante com elevação do sinal ao aproximar o sistema do estábulo.

Sendo o foco no trabalho sobre o sensor TGS2600 os dados obtidos com os ensaios durante o teste de calibração foram convertidos para concentração (ppm) utilizando a equação de ajuste obtida durante o ensaio de calibração. Na Figura 8 foram organizados os dados de concentração reais e medidos.

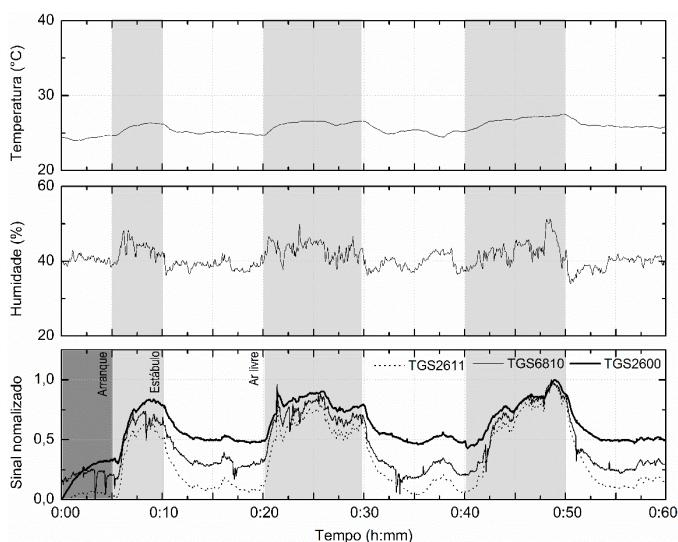


Figura 7 – Ensaio realizado no estábulo utilizando os sensores TGS2600/2611/6810 durante o período de uma hora em conjunto com a humidade relativa e temperatura medidas no local.

Para concentrações mais elevadas – acima dos 400 ppm - o sensor possui uma resposta divergente do valor real com erro médio percentual de 28%, enquanto que para concentrações baixas encontrou-se valores mais próximos do real, obtendo-se um erro médio percentual de 19,5%. Ressalta-se que esses valores não possuem qualquer compensação, de modo que a

discrepância entre os valores reais e medidos pode ser reduzida com a aplicação de um algoritmo de compensação para a temperatura e humidade. Essa etapa é essencial para a aplicação final do sensor.

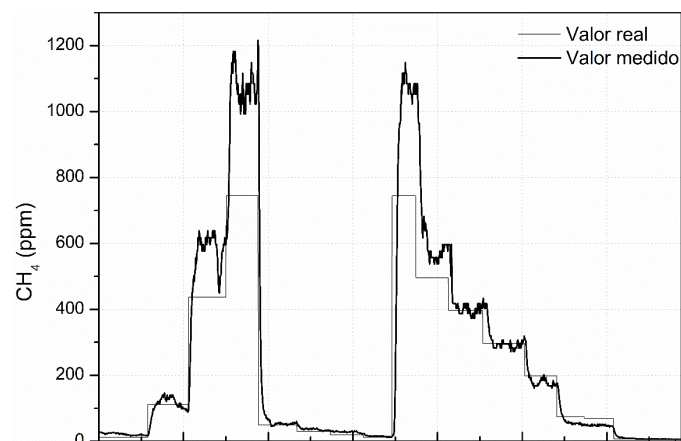


Figura 8 – Comparação entre os valores reais e os valores medidos pelo sensor.

Como o sensor possui uma resposta logarítmica, para concentrações inferiores a 400 ppm a curva de calibração possui maior coeficiente angular de modo que pequenas variações na concentração para essa gama, geram uma diferença maior no valor da resistência, aumentando a resolução do sensor. Nessa gama, percebeu-se uma resolução média do sensor de 5,42 ppm, sendo ainda possível melhorar a resposta do sensor com a redução da tensão de referência e com a utilização de um conversor A/D com maior resolução.

Acima dos 400 ppm, pequenas variações na concentração conduzem a baixas variações na resistência e, consequentemente, à redução da resolução do sensor. Assim, nesta gama, observou-se uma resolução do sensor de 11,60 ppm de metano. Esse comportamento vem a favor do especificado pelo fabricante, que indica o uso do TGS2600 para baixas concentrações.

Esse ponto torna-se também uma vantagem para a aplicação do sensor, visto que no trabalho de Jackson et al [13], foi constatado uma concentração máxima de metano no ambiente urbano de 88,6 ppm, dentro da gama na qual o sensor possui menor erro e maior resolução.

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se um sistema de baixo custo para a medição de metano em áreas urbanas com vista à sua aplicação no estudo das perdas associadas à rede de armazenamento e distribuição de gás natural na região de Bragança. O sistema incorpora tecnologia de geolocalização e transmissão de dados que permitem registrar e visualizar em tempo real as leituras efetuadas e, deste modo, realizar o mapeamento das perdas.

Para a medição do metano foram realizados ensaios com recurso a três sensores de baixo custo, habitualmente usados em sistemas de alarmes baseados em *thresholds* pré-definidos. Seguindo a indicação de outros autores quanto à possível utilização destes sensores para medições a baixas concentrações, foram realizados ensaios ao ar livre e ensaios em local com

metano – estábulo de ovinos. Os ensaios realizados permitiram confirmar a sua sensibilidade ao metano e confirmar uma possível utilização no âmbito do estudo deste trabalho. Permitiram ainda avaliar a dependência da temperatura e humidade para posterior introdução de uma compensação do resultado em relação a estas variáveis e assim minimizar os erros de medida.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da empresa Envienergy que disponibilizou o equipamento necessário para o ensaio de calibração do sensor; ao Professor José António Correia Silva e a Adriano Henrique pela assistência durante os ensaios em laboratório.

#### REFERÊNCIAS

- [1] M. C. Serreze and J. A. Francis, "The Arctic Amplification Debate," *Clim. Change*, vol. 76, no. 3, pp. 241–264, 2006.
- [2] M. van den Bossche, N. T. Rose, and S. F. J. De Wekker, "Potential of a low-cost gas sensor for atmospheric methane monitoring," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 238, pp. 501–509, 2017.
- [3] D. J. Wuebbles and K. Hayhoe, "Atmospheric methane and global change," *Earth-Science Rev.*, vol. 57, no. 3, pp. 177–210, 2002.
- [4] IPCC, *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [5] EMEP, "Transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2003," Norway, 2005.
- [6] J. J. West, A. M. Fiore, L. W. Horowitz, and D. L. Mauzerall, "Global health benefits of mitigating ozone pollution with methane emission controls," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 103, no. 11, pp. 3988–93, Mar. 2006.
- [7] APA-Agência Portuguesa do Ambiente, "Portuguese National Inventory Report, 1990 - 2015," Amadora, 2017.
- [8] M. Hamed, R. Zanjirani Farahani, M. M. Husseini, and G. R. Esmaeilian, "A distribution planning model for natural gas supply chain: A case study," *Energy Policy*, vol. 37, no. 3, pp. 799–812, 2009.
- [9] U. S. E. P. Agency, *Equipment Leaks of VOC in Natural Gas Production Industry: Background Information for Proposed Standards*. 1983.
- [10] X. Gao *et al.*, "Natural gas pipeline leak detector based on NIR diode laser absorption spectroscopy," *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, vol. 65, no. 1, pp. 133–138, 2006.
- [11] Z. Y. Han and W. G. Weng, "Comparison study on qualitative and quantitative risk assessment methods for urban natural gas pipeline network," *J. Hazard. Mater.*, vol. 189, no. 1, pp. 509–518, 2011.
- [12] N. G. Phillips *et al.*, "Mapping urban pipeline leaks: Methane leaks across Boston," 2013.
- [13] R. B. Jackson *et al.*, "Natural Gas Pipeline Leaks Across Washington, DC," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, no. 3, pp. 2051–2058, Feb. 2014.
- [14] Z. Yunusa, M. N. Hamidon, A. Kaiser, and Z. Awang, "Gas sensors: A review," *Sensors and Transducers*, vol. 168, no. 4, pp. 61–75, 2014.
- [15] X. Liu, S. Cheng, H. Liu, S. Hu, D. Zhang, and H. Ning, "A survey on gas sensing technology," *Sensors (Basel)*, vol. 12, no. 7, pp. 9635–65, 2012.
- [16] S. Capone *et al.*, "Solid State Gas Sensors: State of the Art and Future Activities," *ChemInform*, vol. 35, no. 29, Jul. 2004.
- [17] W. Eugster and G. W. Kling, "Performance of a low-cost methane sensor for ambient concentration measurements in preliminary studies," *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 5, no. 8, pp. 1925–1934, Aug. 2012.
- [18] Arduino, "Arduino MEGA 2560 & Genuino MEGA 2560," 2017. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>. [Accessed: 25-Mar-2017].
- [19] Arduino, "What is Arduino?," 2017. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. [Accessed: 25-Mar-2017].
- [20] Figaro, "Technical information for TGS2600," 2012. [Online]. Available: <http://www.figaro.com/products/2600Dtl.pdf>. [Accessed: 25-May-2017].
- [21] E. Cordos *et al.*, "Methane and Carbon Monoxide Gas Detection system based on semiconductor sensor," in *2006 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, 2006, vol. 2, pp. 208–211.
- [22] E. Comini, G. Faglia, and G. Sberveglieri, "Electrical-Based Gas Sensing," in *Solid State Gas Sensing*, E. Comini, G. Faglia, and G. Sberveglieri, Eds. Boston, MA: Springer US, 2009, pp. 1–61.
- [23] D. Richter and H. Fritze, "High-Temperature Gas Sensors," in *Gas Sensing Fundamentals*, C.-D. Kohl and T. Wagner, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014, pp. 1–46.
- [24] Sensirion, "Datasheet SHT3x-DIS," 2017. [Online]. Available: [https://www.sensirion.com/fileadmin/user\\_upload/customers/sensirion/Dokumente/2\\_Humidity\\_Sensors/Sensirion\\_Humidity\\_Sensors\\_SHT3x\\_Datasheet\\_digital.pdf](https://www.sensirion.com/fileadmin/user_upload/customers/sensirion/Dokumente/2_Humidity_Sensors/Sensirion_Humidity_Sensors_SHT3x_Datasheet_digital.pdf). [Accessed: 26-Apr-2017].
- [25] BOSCH, "BMP180 Digital pressure sensor," 2015. [Online]. Available: [https://ae-bst.resource.bosch.com/media/\\_tech/media/datasheets/BST-BMP180-DS000-121.pdf](https://ae-bst.resource.bosch.com/media/_tech/media/datasheets/BST-BMP180-DS000-121.pdf). [Accessed: 29-Apr-2017].
- [26] SIMCom, "SIM808 Hardware Design," 2015. [Online]. Available: [http://simcom.ee/documents/SIM808/SIM808\\_Hardware\\_Design\\_V1.02.pdf](http://simcom.ee/documents/SIM808/SIM808_Hardware_Design_V1.02.pdf). [Accessed: 10-May-2017].
- [27] S. C. Vac, G. E. Popita, N. Frunzeti, and A. Popovici, "Evaluation of Greenhouse Gas Emission from Animal Manure Using the Closed Chamber Method for Gas Fluxes," *Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca*, vol. 41, no. 2, pp. 576–581, 201.

# Contributos para a caracterização energética de edifícios habitacionais do concelho de Bragança

Fernandes, Silvia

Escola Superior de Tecnologia e Gestão:  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
silvia@ipb.pt

**Resumo**— A eficiência energética constitui um dos objetivos do pacote clima-energia, sendo o sector dos edifícios existentes um dos eixos de atuação. A diretiva 2010/31/UE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, preconiza um conjunto de medidas tendo em vista a promoção e diminuição do consumo de energia nos edifícios e o recurso às energias endógenas. Torna-se por isso urgente atuar ao nível da eficiência energética dos edifícios, mas para essa atuação ser eficiente, e considerando também a débil situação económica que Portugal atravessa, é necessária a caracterização energética do parque edificado, para que se direcionem esforços e se implementem as medidas mais eficazes. Neste sentido, este trabalho pretende contribuir para a caracterização energética do parque habitacional do concelho de Bragança, com base na análise de 250 edifícios de habitação, das décadas de 1980, 1990 e 2000, que foram objeto de certificação energética, para que se tomem as medidas de intervenção energética mais eficazes.

**Palavras-chave** — *Eficiência energética; Certificação energética; Edifícios habitacionais; Bragança.*

## I. INTRODUÇÃO

Em Portugal, os edifícios de habitação representam cerca de 20% do consumo de energia [1], a qual, no seu processo de conversão e utilização contribui para as emissões de gases de efeito estufa e consequentes alterações climáticas.

O World Resources Institute estima que os edifícios são responsáveis por 15,3% das emissões globais de GEE, não estando contempladas nesta percentagem as emissões industriais com o fabrico dos materiais e o seu transporte rodoviário [2] que a elevariam para valores na ordem dos 20 a 25%, sendo que relativamente aos países industrializados essa percentagem sobe para 50% [3].

No âmbito da problemática das alterações climáticas e outras preocupações ambientais, em que a Energia tem um papel relevante, o parlamento europeu apresentou em 2007, um plano de ação, o “Pacote clima-energia: três vintes até 2020”. O objetivo deste plano consiste em reduzir 20% as emissões GEE em relação aos valores de 1990, elevar para 20% a quota-parte das energias renováveis no consumo final bruto de

energia e aumentar em 20% a eficiência energética até 2020 [4].

A eficiência energética constitui um dos objetivos do pacote clima-energia consistindo num dos principais meios de redução de CO<sub>2</sub>, sendo o sector dos edifícios um dos eixos de atuação. A diretiva 2010/31/UE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, preconiza um conjunto de medidas para minimizar os problemas abordados, promovendo a diminuição do consumo de energia nos edifícios e o recurso às energias endógenas.

Torna-se por isso urgente atuar ao nível da eficiência energética dos edifícios, mas, essa atuação, considerando a débil situação económica que o país atravessa, tem que ser muito eficiente. Para tal, torna-se necessário conhecer bem o parque edificado, para que se direcionem esforços e se implementem as medidas mais eficazes.

Bragança é uma cidade pequena localizada no interior de Portugal, mas em termos climáticos não deixa de assumir uma posição de destaque. Estando situada na zona climática I3-V2, a uma altitude elevada, apresenta-se como uma das zonas mais frias no Inverno, levando a elevadas necessidades energéticas nos edifícios.

Neste sentido, este trabalho consiste em resumir a experiência profissional da autora na área do projeto e certificação energética de edifícios habitacionais, de modo a contribuir para a caracterização energética do parque habitacional do concelho de Bragança para que se tomem as medidas de intervenção mais eficazes, no que respeita à transformação energética de edifícios existentes.

## II. ENQUADRAMENTO DA LEGISLAÇÃO NACIONAL E NECESSIDADES DE INTERVENÇÃO

### A. Evolução da Legislação Nacional

Em Portugal, o primeiro regulamento sobre o comportamento térmico de edifícios surgiu em 1990 (RCCTE, Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de fevereiro), adiante designado por RCCTE-1990. Este regulamento introduziu, pela primeira vez, os aspetos térmicos e energéticos no estudo e projeto de

edifícios. Embora pouco exigente veio introduzir a prática comum e o crescente interesse em introduzir isolamento térmico nos edifícios.

Para fazer face aos problemas associados ao excessivo consumo das energias fósseis nos edifícios, a Comissão Europeia lançou uma proposta de diretiva sobre o desempenho energético de edifícios, que viria a ser aprovada a 16 de dezembro de 2002, a Diretiva 2002/91/CE. Com ela surgiram as seguintes novidades: -Requisitos mínimos para o desempenho energético de grandes reabilitações; -Revisão da legislação no mínimo de 5 em 5 anos; - Certificação Energética dos Edifícios; -Recurso à energia renovável; - Qualificação adequada dos técnicos para a certificação e instalação de sistemas. A sua transposição para o direito nacional fez-se através dos seguintes Decretos-Lei: -Decreto-Lei n.º 78/2006-SCE: Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios; -Decreto-Lei n.º 79/2006, RSECE: Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios; - e Decreto-Lei n.º 80/2006, RCCTE: Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, que revogou o D.L. 40/90 de 6 de fevereiro, adiante designado por RCCTE-2006.

A EPBD-2002 foi, entretanto, revogada pela Diretiva nº 2010/31/CE (EPBD recast – Energy Performance of Buildings Directive). Esta nova versão contempla um conjunto de novos desafios, tais como os edifícios com consumo de energia quase nulo a partir de 2020, e vem assim contribuir para os arrojados compromissos europeus “UE 20 20 20”. A transposição da diretiva EPBD recast-2010 para o direito nacional fez-se através do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, revogando os anteriores instrumentos legislativos referidos. Este diploma vem agregar num só documento o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), adiante designado por REH-2013, e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).

### *B. O projeto e a Certificação Energética de Edifícios*

Atualmente, em Portugal, todos os edifícios de habitação (excetuando casos muito particulares) são abrangidos pelo Sistema de Certificação Energética. O REH refere-se a três tipos de edifícios: -Edifícios novos; - Edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções; - e Edifícios existentes.

Edifícios novos e edifícios existentes sujeitos a grande intervenção, em fase de licença de construção, são objeto de um Projeto Térmico, que tem que ser verificado por um Perito Qualificado (PQ). Este, atesta o cumprimento do projeto de acordo com a legislação, emitindo um Pré-Certificado Energético. Posteriormente, em fase de licença de utilização, o edifício é objeto de análise pelo PQ, o qual verifica se a obra finalizada cumpre com o projeto, procedendo à emissão do Certificado Energético.

Os restantes edifícios existentes, são sujeitos à Certificação Energética, em fase de venda ou arrendamento. Neste caso existe apenas um único ato, não havendo qualquer certificado provisório.

De realçar que, Segundo o REH, qualquer intervenção, independentemente da sua dimensão, seja na envolvente ou nos sistemas técnicos, terá de obedecer aos requisitos mínimos estabelecidos na legislação, relativamente ao coeficiente de transmissão térmica superficial, fatores solares dos vãos envidraçados e eficiência dos sistemas (exceto em casos de incompatibilidades de ordem funcional ou técnica devidamente justificadas). No entanto, deparamo-nos aqui com um problema enorme já que, as pequenas intervenções, e que consistem muitas vezes em atos isolados, como a substituição de caixilharias, incorporação de isolamentos térmicos ou substituição de equipamentos degradados, muitas vezes, segundo o regime jurídico da urbanização e edificação (Decreto -Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, alterado pela pelo Decreto-Lei n.º 136/2014, de 9 de setembro), estão isentas de controlo prévio, por parte das entidades camarárias, e desta forma as decisões passam a estar muitas vezes nas mãos dos próprios proprietários e construtores, com pouca formação na área, estando-se a perder oportunidades únicas de melhorar eficazmente a eficiência energética do parque edificado.

### *C. Necessidades de Intervenção por Época de Construção*

O concelho de Bragança, para fins estatísticos, integra-se na NUT III do Alto Trás-os-Montes. Os censos de 2011 permitiram apurar uma população residente de 35 341 mil indivíduos, e a existência de 16517 edifícios clássicos, sendo 88% exclusivamente residenciais. A idade média destes edifícios apurada pelos censos foi 34,03 anos, caracterizando desta forma um parque edificado relativamente recente [5].

Atendendo a que as exigências em relação às questões do conforto térmico e da eficiência energética têm vindo a aumentar ao longo do tempo, a época de construção torna-se uma variável de extrema importância na análise do consumo energético do parque habitacional. Com base na informação estatística, é possível refletir na possibilidade de intervenção nos edifícios, com o intuito de reduzir as suas necessidades de energia.

Relativamente ao concelho de Bragança, conforme *Fig.1*, e tendo como base dados dos Recenseamentos Gerais da Habitação [6] verifica-se que 68% dos edifícios existentes foram construídos antes da entrada em vigor do primeiro regulamento de térmica e, portanto, com necessidades energéticas maiores, 26% foram construídos à luz do RCCTE-1990 e 6% foram construídos à luz do RCCTE-2006. Torna-se, no entanto, necessário interpretar estes números com especial cautela, pois um número significativo dos edifícios mais antigos já foi alvo de intervenções. Mas, por outro lado, constata-se que mais de 50% dos edifícios existentes foram construídos após 1981, com idades inferiores a 36 anos, provavelmente sem terem sofrido qualquer intervenção. Pode, portanto, concluir-se que existe um número significativo de edifícios que foram construídos sem qualquer legislação, ou tomando como base uma legislação ainda pouco exigente necessitando, por isso, de intervenções e de adaptações às novas exigências de conforto térmico/energético nos próximos anos.



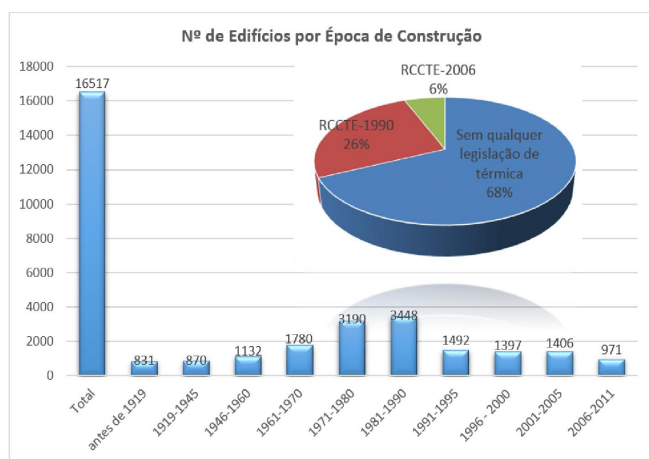


Fig. 1. Total de Edifícios por época de construção, concelho de Bragança, com base em dados de PorData, Recenseamentos Gerais da Habitação.

### III. CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DO PARQUE HABITACIONAL DE BRAGANÇA

A caracterização energética que se apresenta, tem como base a análise de dados referentes a 250 edifícios de habitação, do concelho de Bragança, pertencentes às décadas de 1980, 1990 e 2000.

Para caracterizar as soluções e analisar os principais parâmetros com influência no desempenho energético dos edifícios, foi efetuada uma análise por diferentes períodos de construção. Para tal, foram tidos em consideração alguns aspetos que marcaram os hábitos de construção ao longo do tempo, tais como: - a evolução da legislação de térmica; - a introdução da rede de gás natural na cidade (com enorme impacto nos sistemas de climatização); - e o aparecimento no mercado de novas soluções de materiais e sistemas.

De modo a sustentar a escolha das soluções características, para além da experiência da autora, foram auscultados projetistas, peritos qualificados e construtores que trabalharam na zona geográfica em questão.

#### A. Tipologia e Organização Espacial

Relativamente à tipologia, identificou-se a T3 como sendo a mais representativa em apartamentos e a T4 em moradias. Quanto à disposição dos compartimentos, os edifícios caracterizam-se por uma zona comum, composta por sala, cozinha, despensa e/ou lavandaria e uma zona privativa composta por quartos e instalações sanitárias. Estas, principalmente nos edifícios em banda encontram-se localizadas na zona central da habitação, sem qualquer iluminação natural.

Em apartamentos, o comprimento médio das fachadas principal e posterior é de aproximadamente 10m e o das fachadas laterais é de 15m. Os edifícios multifamiliares apresentam em geral uma forma compacta, com saliências (pavimentos exteriores) somente ao nível do primeiro andar, com áreas pouco representativas em relação à área útil total. Muitos dos apartamentos foram projetados com pelo menos

uma varanda, que em muitos casos se transformou em marquise.

Os apartamentos situados ao nível do rés-do-chão e último andar são os mais desfavorecidos, em termos de desempenho energético. Os primeiros geralmente estão em contato, com a garagem parcialmente enterrada, e os segundos, com a cobertura, pela qual existem perdas e ganhos térmicos significativos. As moradias são caracterizadas por formas mais irregulares, mas em regra cada fachada mede aproximadamente 8 a 12 metros. Apresentam geralmente dois a três pisos, um dos quais, destinado à garagem. Esta, localizada no piso térreo, na maioria dos casos parcialmente enterrada, apresenta ligação ao piso superior por uma escada.

Foi possível verificar os seguintes intervalos representativos relativos às áreas úteis dos edifícios: Tipologia T2 - 70 a 100 m<sup>2</sup>; Tipologia T3 - 100 a 130 m<sup>2</sup>; e Tipologia T4-160 a 180 m<sup>2</sup>.

O Pé direito médio ponderado corresponde a valores na ordem dos 2,5 a 2,6m.

Os principais espaços não úteis identificados foram os seguintes: - Lavandarias, marquises e despensas; - Garagens; - Desvãos de cobertura não habitáveis; - Zonas comuns em edifícios multifamiliares; - Edifícios adjacentes.

São apresentadas nas Fig. 2 e 3, algumas fotografias que retratam edifícios de habitação, representativos de diferentes épocas de construção.



Fig. 2. Fotografias de alguns Edifícios multifamiliares

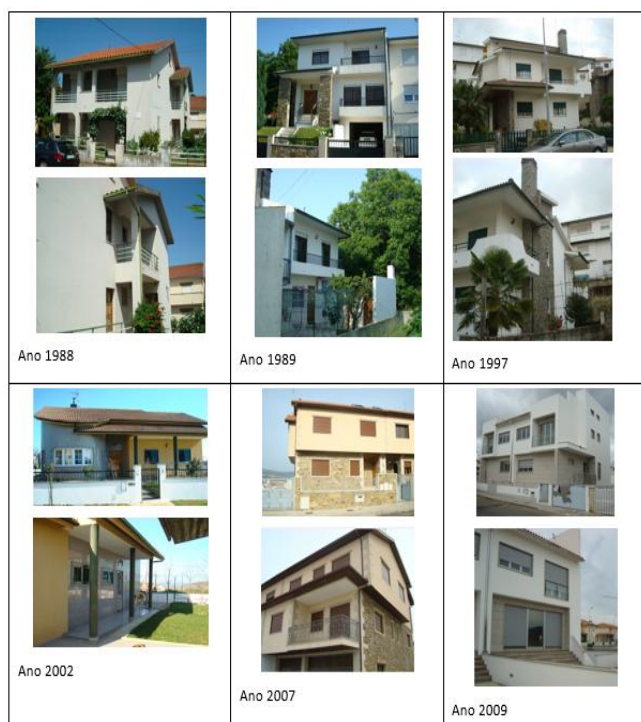


Fig. 3. Fotografias de alguns Edifícios uni/bifamiliares

#### B. Caracterização das Principais Soluções Construtivas

Relativamente ao tipo de estrutura, este tipo de edifícios é caracterizado, à semelhança do resto do país, pela estrutura em betão armado. As lajes são na sua maioria aligeiradas, à exceção das lajes maciças em consola (varandas e pequenas saliências exteriores).

Na maioria dos edifícios inspecionados foi possível constatar que as suas Paredes Exteriores apresentam espessuras entre 30cm a 40cm, sendo constituídas por pano duplo (alvenaria cerâmica, 15cm+11cm), destacando-se a prática da incorporação de isolamento térmico em edifícios da década de 1990, em virtude do aparecimento da primeira legislação térmica. O isolamento predominante é o poliestireno extrudido (XPS) com espessura de 3 cm. A aplicação do RCCTE-2006 veio fazer com que as espessuras dos isolamentos aumentassem, o que em apartamentos se traduziu em um incremento ligeiro de 1 a 2cm e em moradias de 3 a 5cm. Esta legislação acabou também por influenciar a prática na adoção de algumas soluções novas, como a aplicação de isolamento pelo exterior através do sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) e da fachada ventilada, acabando o primeiro sistema por se enraizar no mercado, principalmente na área da reabilitação, pelos baixos custos e facilidade de aplicação. As paredes apresentam-se na generalidade dos casos revestidas pelo interior com reboco ou estuque de gesso de 2cm, com acabamento a azulejo ou tinta plástica, respetivamente. Pelo exterior o reboco com acabamento a tinta ou azulejo cerâmico de cores claras são os revestimentos e acabamentos que predominam.

As soluções de Paredes Interiores de separação com os edifícios adjacentes são semelhantes às paredes exteriores, mas

as restantes paredes interiores apresentam em regra menores espessuras, não contemplando na sua maioria isolamento. De destacar a solução corrente de paredes interiores, de separação de espaços úteis com lavandarias/marqueses, arrumos e desvãos de cobertura, construídas com um único pano de tijolo cerâmico de 7 a 11cm. Edifícios construídos à luz do RCCTE-2006, passaram a exigir espessuras maiores, algumas incorporando isolamento térmico, por forma a verificarem os requisitos mínimos regulamentares.

As Coberturas dos edifícios são caracterizadas por um telhado de duas águas rematado por um beiral ou uma platibanda. Sob o telhado existe um desvão, geralmente não habitável e não ventilado. A utilização deste desvão para ocupação humana verificou-se mais em moradias. Quando não habitável, o desvão é considerado espaço não útil, sendo a laje sob o mesmo considerada, segundo a regulamentação de térmica, como cobertura interior. A constituição da cobertura interior mais corrente assenta numa laje aligeirada de vigotas de betão pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas, de 20 a 30 cm de espessura. Foi possível verificar a utilização crescente de abobadilha de esferovite (EPS) a partir do início da década de 2000, na laje superior ao desvão conforme se pode visualizar na Fig. 4, para dar leveza à estrutura e conferir-lhe isolamento, no entanto para efeitos de cálculo térmico esta laje superior não é contabilizada. Contrariamente ao que aconteceu com as Paredes Exteriores, o RCCTE-1990, infelizmente, não trouxe a prática corrente de incorporação de isolamento térmico nas Coberturas, o que se veio a comprovar mediante as inspeções dimensionais e visuais decorrentes dos processos de certificação energética em análise, conforme se pode ver na Fig. 4. Só com a entrada em vigor do RCCTE-2006, se generalizou a aplicação de isolamento nas coberturas, quer sobre a laje do telhado, no caso de desvãos habitáveis, quer sobre a cobertura interior, no caso de desvãos não habitáveis, Fig. 5. As espessuras registadas em apartamentos com base nesta legislação, rondam os 6 cm, e em moradias os 8cm.

A constatação da falta de isolamento térmico nas Coberturas estende-se aos restantes Pavimentos do edifício, Exteriores e Interiores. A sua constituição estrutural é semelhante, assentando em lajes aligeiradas, sobre as quais vulgarmente eram colocadas camadas de regularização com argamassas de argila expandida. A partir da década de 2000 as lãs minerais e mantas têxteis começaram a ter alguma aplicação, mas na maioria dos casos só entre apartamentos por uma questão de isolamento sonoro.



Fig. 4. Exemplos de soluções de desvãos de coberturas, construídos antes da entrada em vigor do RCCTE-2006





Fig. 5. Exemplos de soluções de desvãos de coberturas, construídos após a entrada em vigor do RCCTE-2006

As Portas dos edifícios da década de 1980 caracterizam-se por uma espessura entre os 4 a 6 cm. As portas dos edifícios da década de 1990 e 2000 passaram a ser mais robustas, construídas em estrutura de aço forradas com painéis de madeira, em PVC ou alumínio.

Relativamente às Pontes Térmicas Planas (pilares, talões de vigas e caixas de estores), constatou-se a falta de isolamento térmico nas mesmas, nos edifícios anteriores ao RCCTE-2006, conforme ilustrado na Fig. 6.

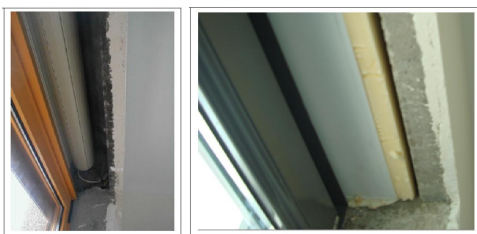


Fig. 6. Soluções de caixas de estores em edifícios construído antes e após a entrada em vigor do RCCTE-2006

Quanto às pontes térmicas lineares, foi possível constatar uma contribuição significativa destas, nas perdas térmicas totais do edifício (aproximadamente 10%).

Os Vãos Envidraçados mais representativos dos edifícios dos anos 80 são constituídos por caixilharia simples, em alumínio sem corte térmico, de correr, de cor clara, e com vidro simples incolor de 4 a 5mm, Fig. 7. Os vãos envidraçados dos edifícios construídos após o RCCTE-1990, Fig. 8, caracterizam-se pela incorporação de vidros duplos, sendo o mais frequente, o incolor mais incolor, com 4 a 5mm. A caixa-de-ar entre os mesmos varia entre 8 a 14mm. Somente a partir da década de 2000, é que os vãos envidraçados se caracterizam por uma caixilharia mais imponente em alumínio com rotura térmica, abertura giratória e oscilobatente. Paralelamente ao alumínio, na década de 2000, o PVC surge como uma opção recorrente. Em todas as épocas analisadas, as proteções dos vãos mais representativas são as persianas exteriores de cor clara. O material característico é o plástico, sendo substituído em larga escala por alumínio com isolamento em poliuretano no seu interior a partir da década de 1990. A partir da década de 2000, as persianas motorizadas passaram a ser uma solução recorrente, reduzindo as fugas de ar através das fitas. A constituição dos vãos das instalações sanitárias muitas vezes difere da constituição dos restantes, mesmo nos edifícios recentes, nomeadamente no tipo de vidro e nas proteções, sendo que em alguns casos estas são inexistentes ou interiores.

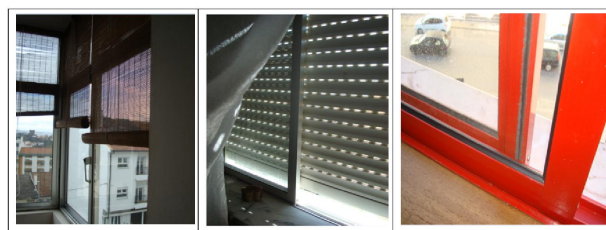


Fig. 7. Soluções de vãos envidraçados, em edifícios da década de 1980, anteriores ao RCCTE-1990



Fig. 8. Soluções de vãos envidraçados com caixilharia em alumínio com corte térmico e PVC, com vidro duplo, posteriores ao RCCTE-1990

A ventilação natural foi o sistema de ventilação identificado em todos os projetos e edifícios inspecionados. De salientar a falta de classificação quanto à permeabilidade ao ar da caixilharia, e a inexistência de dispositivos de admissão de ar (grelhas autorreguláveis ou não) na envolvente exterior. A relação identificada, da área dos envidraçados com a área útil foi de aproximadamente 15%.

A maioria dos edifícios são caracterizados por uma inércia térmica forte.

### C. Caracterização das Principais Soluções de Climatização, e Preparação de Águas Quentes Sanitárias

Os Sistemas de Climatização e Preparação de Águas Quentes mais comuns, quer em edifícios novos, quer em existentes, com ligação à rede de gás natural (em zonas urbanas), são os que se apresentam: - Aquecimento: Caldeira mural, que aquece a água dos radiadores distribuídos pelos compartimentos do edifício; - Arrefecimento: Inexistente; - AQS: Caldeira mural (a mesma que faz o aquecimento).

Quanto à instalação das caldeiras, as murais são as mais representativas, com potências na ordem dos 20 a 25 kW, em relação às de chão, com potências na ordem dos 40kW. Relativamente à exaustão do ar, verificou-se uma predominância das caldeiras atmosféricas nos edifícios construídos até meados da década de 2000, e uma predominância das caldeiras estanques nos edifícios mais recentes.

Em zonas rurais, os sistemas predominantes são os que se apresentam:- Aquecimento: Lareira e aquecedores pontuais, com utilização de lenha e eletricidade, respetivamente;- Arrefecimento: Inexistente; - AQS: Esquentador, com utilização do gásóleo, gás butano ou propano.

### D. Caracterização dos Sistemas Solares

Não era comum a instalação de sistemas solares em edifícios anteriores ao RCCTE-2006. Esta legislação veio

impor a instalação de painéis solares para a produção de água quente sanitária, sempre que houvesse uma exposição solar adequada. O sistema mais especificado nos projetos e edifícios avaliados foi o sistema de circulação forçada.

#### IV. EXEMPLO DE PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO

Tendo como base a caracterização energética do parque habitacional apresentada no capítulo anterior, é possível uma orientação mais eficaz dos esforços de intervenção com vista à melhoria da eficiência energética dos edifícios. Tal informação pode ser sistematizada por exemplo, em “fichas modelo”.

Apresenta-se na Fig. 9, um exemplo de ficha, para as Paredes Exteriores, que resume as soluções características e propostas de intervenção, tendo em consideração os requisitos mínimos e de referência estabelecidos na legislação atual (REH-2013). Os cálculos para a determinação do coeficiente de transmissão térmica superficial,  $U$ , tiveram em conta os valores estabelecidos no ITE 50 (documento técnico elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil).

Épocas construção	Antes do RCCTE 1980-1992	RCCTE- 1990 1993-2008	RCCTE- 2006 Após 2008	
Soluções de Paredes exteriores por períodos de construção				
Solução característica $U [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	Parede exterior dupla Tijolo 15+Caixa de ar+Tijolo11 $U=1$	Parede exterior dupla Tijolo 15+Caixa de ar+XPS3+Tijolo11 $U=0,57$	Apartamentos Parede exterior dupla Tijolo 15+Caixa de ar+XPS4+Tijolo11 $U=0,5$	Moradias Parede exterior dupla Tijolo 15+Caixa de ar+XPS6+Tijolo11 $U=0,4$
U Máximo- U Referência, REH	U máx=0,35			
PTP adjacentes (pilares, vigas, caixas de estores) com Isolamento?	Não	Não	Sim	Sim
Espessura de Isolamento necessária (XPS/EPS/Lã mineral,...) para atingir a referência	Colocação de Isolamento: 8cm	Incremento de Isolamento: 5cm	Incremento de Isolamento: 4cm	Incremento de Isolamento: 2cm

##### Observações/Oportunidades de melhoria:

- As soluções de paredes exteriores anteriores ao RCCTE-2006, especialmente de edifícios da década de 1980 (anteriores ao RCCTE-1990) são as que apresentam um potencial maior de intervenção através da incorporação de isolamento térmico.

O isolamento pode ser aplicado pelo exterior, pelo interior, ou na caixa-de-ar. Em soluções de reabilitação o sistema ETICS é o sistema pelo exterior mais utilizado, tendo um menor custo que a maioria dos sistemas exteriores, maior facilidade de aplicação e um menor impacto a nível estético. As fachadas ventiladas, embora sejam uma solução com um custo superior podem apresentar vantagens em acrescentar valor em termos estéticos e não necessitam da remoção do revestimento existente. Os sistemas de isolamento pelo exterior apresentam a vantagem de manter a inércia térmica do edifício e tratar as pontes térmicas planas (pilares e vigas) e lineares através da continuidade do isolamento, no entanto, em edifícios multifamiliares é necessário que o condomínio chegue a acordo. Quando tal não sucede, ou quando por outras razões, como a impossibilidade de alterar a estética do edifício ou a dificuldade de execução da obra, o isolamento pelo interior (colocado diretamente na parede ou formando uma estrutura com caixa de ar) constitui uma opção. As placas de isolamento térmico mais utilizadas nas soluções de isolamento são o poliestireno expandido e extrudido (no entanto existem sistemas com aplicação de outros isolantes, tais como a cortiça ou lã de rocha). Em paredes de pano duplo sem isolantes térmicos, a aplicação de isolamento térmico na caixa-de-ar, através da incorporação de materiais isolantes soltos ou a injeção de espumas na caixa-de-ar pode apresentar-se como uma solução de reabilitação térmica, no entanto, embora seja uma solução de fácil execução e económica, oferece menos garantias da continuidade do isolamento (pela eventual existência de detritos, espessuras de ar reduzidas), os pilares/vigas/caixas de estores não ficam isolados, para além de ser a solução mais penalizadora em termos de perdas lineares, é também a solução que oferece mais dificuldade quanto ao controlo de qualidade dos trabalhos.

As caixas de estores são zonas muito sensíveis às infiltrações de ar e apresentam uma resistência térmica muito baixa. A incorporação de isolamento térmico nas mesmas, em edifícios anteriores ao RCCTE-2006, para além de proporcionar melhorias ao nível do desempenho energético proporciona melhorias ao nível do conforto térmico. Havendo espaço, o isolamento poderá ser incorporado no interior da caixa, traduzindo-se numa medida simples, rápida, económica e sem interferências com a estética dos espaços adjacentes.

#### V. CONCLUSÃO

Através de uma análise feita aos censos de 2011 constatou-se que, no concelho de Bragança, existe um número significativo de edifícios construídos sem qualquer legislação de térmica, ou que têm como base uma legislação ainda pouco exigente, necessitando de intervenções e de adaptações às novas exigências de conforto térmico/energético nos próximos anos.

Os edifícios, anteriores ao RCCTE-2006, são caracterizados essencialmente por uma estrutura em betão armado, paredes duplas com baixas espessuras de isolamento térmico na caixa-de-ar, inexistência de isolamento térmico na maioria das coberturas, pavimentos, paredes interiores, pilares, vigas e caixas de estores. Para além disso, os edifícios anteriores ao RCCTE-1992, caracterizam-se por sistemas de caixilharias de correr e vidro simples. Ora, este tipo de construção confere zonas sensíveis e singulares, causadoras de desconforto e grandes perdas térmicas.

Tendo em atenção esta caracterização, e estando Bragança inserida numa das zonas climáticas do país com maiores necessidades energéticas para o aquecimento, está-se perante um potencial significativo de poupança energética se a renovação dos edifícios for feita com eficiência.

É por isso essencial providenciar informação, para que ela possa ser facilmente tratada e sistematizada, e que possa estar na base da elaboração de catálogos ou fichas-modelo, de consulta simples, particularmente por construtores e proprietários, que embora sendo detentores de poucos conhecimentos técnicos, acabam por ter um papel decisivo nas pequenas intervenções energéticas. Tal seria útil, principalmente para prevenir que essas intervenções sejam um desperdício de oportunidades de melhoria. Pretende-se por isso, que este trabalho seja um contributo a este nível.

#### REFERÊNCIAS

- [1] INE, I.P.; DGEG, Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010, Lisboa, Outubro de 2011.
- [2] Larsson, N., “Análise do Ciclo de Vida na Construção Civil”, iiSBE. International initiative for a sustainable Built Environment, SB10Brazil, 2010.
- [3] Rezaie B., Esmailzadeh E. and Dincer I., “Renewable energy options for buildings: Case studies”, Energy and Buildings, Jornal Elsevier, 2011.
- [4] Commission of the European Communities, Communication from the Commission to the European Parliament, “The Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 20 20 by 2020. Europe's Climate Change Opportunity”, Brussels, 2008.
- [5] INE, Censos, 2011. Instituto nacional de estatística. Disponível em: <http://www.ine.pt>, acedido em Março de 2017.
- [6] Pordata, Base de Dados de Portugal Contemporâneo, Disponível em: <http://www.pordata.pt/>, acedido em Março de 2017.

Fig. 9. Exemplo de uma ficha para as paredes exteriores

# Jerarquización de objetivos de gestión para el Parque Natural de Montesinho (Portugal)

Mónica de Castro-Pardo  
Universidad Internacional de la Rioja  
Madrid, España  
monica.decastro@unir.net

Fernando Pérez-Rodríguez  
Instituto Politécnico de Bragança & Centro de Investigação  
de Montanha  
Bragança, Portugal.  
fernando.perez@ipb.pt

**Abstract**—En este trabajo se evalúa la priorización, y su robustez, de siete objetivos de gestión del Parque Natural de Montesinho mediante la utilización del método de las jerarquías analíticas (AHP). Para ello se ha realizado una encuesta a 21 estudiantes y profesores de titulaciones agrarias y forestales del Instituto Politécnico de Bragança. Además se comparan las valoraciones obtenidas con AHP y con un método de votaciones. Los resultados muestran que los objetivos de gestión más relevantes para este parque natural son los de Biodiversidad y Uso sostenible.

**Keywords**—AHP; voting; reversibility; management; Montesinho Natural Park

## I. INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones en espacios protegidos es compleja debido al gran número de agentes implicados con intereses contrarios. Esto implica la posible aparición de conflictos que deriva en la dificultad para su gestión [1]. Por otro lado, la necesidad de incorporar la participación de diferentes agentes implicados incrementa la complejidad del proceso de toma de decisiones, no solo a nivel metodológico sino también desde una perspectiva social. La agregación de preferencias individuales es un proceso complejo en el que se pueden presentar problemas de consistencia asociados al consenso de la valoración grupal, y problemas de legitimidad social, asociados a la validez ética del resultado conjunto. Desde una base racional, dada la diversidad de preferencias y preocupaciones de los distintos individuos dentro de la sociedad, la dificultad de la elección social reside en cómo relacionar las evaluaciones sociales y las decisiones agregadas del grupo con las opiniones e intereses individuales [2].

En este contexto, las herramientas de análisis multi-criterio han resultado de gran ayuda para estructurar y resolver problemas decisionales complejos [3-6]. Estos métodos proporcionan un marco estructurado de discusión que puede resultar de gran ayuda para resolver conflictos y optimizar recursos. Además aportan transparencia a los procesos de participación para la formulación de políticas públicas en gestión de recursos naturales [7] y constituyen una interesante fuente de información para los gestores. En este sentido, la agregación de las preferencias individuales requiere especial atención y resulta más efectiva si la participación se incorpora en etapas tempranas de los procesos decisionales [10]. Sin embargo, en ocasiones no resulta fácil identificar los principales criterios a valorar al principio del proceso.

El método de las jerarquías analíticas (AHP o Analytic Hierarchy Process) es uno de los métodos multi-criterio más utilizados en la toma de decisiones, ya que permite cuantificar valoraciones subjetivas [9] y además su aplicación permite cubrir una amplia diversidad de problemas [10] y en particular su uso es frecuente en la gestión de recursos naturales [11]. Sin embargo, este método ha sido cuestionado fundamentalmente por dos problemas: la elevada proporción de respuestas inconsistentes obtenidas en una primera consulta y el problema de reversibilidad del ranking, que se basa en la debilidad de los resultados al cambiar el número de criterios considerados en la valoración [12-13].

Por otro lado, los métodos de votaciones proporcionan una herramienta más sencilla para recoger las preferencias de los agentes implicados de manera más sencilla, aunque su principal inconveniente respecto de métodos más estructurados aparece asociado a la falta de rigor [14]. Por otro lado, la dificultad en alcanzar simultáneamente las condiciones de consistencia, independencia, monotonicidad, óptimo paretiano y no manipulabilidad supone una desventaja en el uso de estos métodos [15].

En este trabajo, se pretende testar y evaluar la utilización de un análisis de jerarquías analíticas y un método de votaciones valorando siete objetivos de gestión en un espacio protegido del noreste de Portugal. Además se pretende evaluar la robustez de los resultados obtenidos con estas metodologías en el ranking de los objetivos de gestión.

En la sección II se describe la metodología, en la sección III se describen los resultados, en la sección IV se discuten los resultados y en la sección V se exponen las conclusiones y se proponen futuras líneas de investigación.

## II. METODOLOGÍA

En este estudio se ha utilizado un análisis de jerarquías analíticas y un método de votaciones los cuales se detallan a continuación.

### A. El método de las jerarquías analíticas (AHP)

El método de las jerarquías analíticas (AHP) [9] permite recoger valoraciones subjetivas y cuantificar los trade-offs entre pares de criterios intangibles [16], considerando las preferencias o valoraciones individuales a través de juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y las alternativas tomados por pares. El decisor tiene la opción de

expresar su intensidad de preferencia en una escala de 9 puntos. Si dos atributos tienen la misma importancia, se asigna una puntuación de 1 a esa comparación, mientras que la puntuación 9 indica la importancia absoluta de un criterio sobre el otro.

En este trabajo se ha analizado la robustez de los resultados, debido a la naturaleza subjetiva de los modelos aplicados. En primer lugar se han recogido las valoraciones individuales sobre los siete criterios a través de una encuesta de tipo Saaty [9]. En segundo lugar, se ha calculado el índice de inconsistencia [17] para cada matriz pareada resultado de cada valoración individual. Después se ha tratado la inconsistencia de las matrices con índices de inconsistencia superiores a 0.10 usando un modelo de programación por metas [18]. Posteriormente se han agregado las valoraciones individuales primarias, las valoraciones primarias consistentes y las valoraciones con la inconsistencia corregida, respectivamente, usando la media geométrica [17], obteniendo tres valoraciones conjuntas. Una vez agregadas las valoraciones individuales se han comparado los resultados entre las matrices primarias sin corregir, las matrices con la inconsistencia corregida y las matrices primarias consistentes. Por último se ha realizado un análisis de sensibilidad, eliminando del análisis los dos criterios más valorados y los dos criterios menos valorados, y calculando el índice de inconsistencia para cada resultado.

#### B. Los métodos de votaciones

Los métodos de votaciones han sido ampliamente utilizados para la toma de decisiones en las que intervienen múltiples agentes. Existen diferentes métodos de votación como los métodos por pares, los métodos de votaciones multi-etápicas, la votación plural, los métodos por aprobación o la votación utilitaria [19]. Sin embargo, muchos de ellos resultan fácilmente manipulables. En este trabajo se ha utilizado un método de votaciones basado en la regla de Borda ya que resulta un método sencillo, difícil de manipular, donde no hay perdedor de Condorcet y que cumple con las propiedades de consistencia, monotonicidad y óptimo paretiano [15]. Este método tiene en cuenta el orden de preferencia total, y cada votante ordena de mayor a menor sus preferencias. Así, dados  $n$  criterios, cada votante otorga  $n$  votos al criterio preferido,  $n-1$  al siguiente,  $n-2$  al siguiente, y así sucesivamente, hasta otorgar el valor 1 al criterio menos preferido. El ganador es el criterio que obtiene mayor número de votos entre todos los votantes. El punto débil de este método reside en que el votante debe conocer muy bien las características de cada alternativa [20].

En primer lugar se han obtenido las valoraciones individuales y después se han agregado en una única valoración conjunta usando una media aritmética. Por último se han comparado los resultados obtenidos por este método con los resultados obtenidos a través del AHP.

#### C. Caso de estudio

El área de estudio se enmarca en el Parque Natural de Montesinho, un espacio natural situado en el Noreste de Portugal. Este parque cuenta con la categoría de protección desde 1979 y está incluido en la Red Natura 2000. El área comprende una superficie de 74.229 ha y engloba los municipios de Bragança y Vinhais. Las características

geomorfológicas son las de un área montañosa, precipitaciones 1200 y 1600 mm anuales y temperatura media anual de 8°C.

El progresivo abandono de los campos [21] y el elevado riesgo de incendio asociado a este [22], requiere prestar especial atención a una ordenación del espacio con una definición cuidadosa de los planes de gestión, que no solo consideren los objetivos de gestión en función de su categoría de protección sino que además estén alineados con las preferencias de los agentes vinculados al espacio natural. La principal actividad económica históricamente se ha basado en la agricultura, aunque muchos campos han sido abandonados y sustituidos progresivamente por masa forestal [23].

#### D. Validación y robustez de los resultados

Para validar esta metodología, se han recogido las valoraciones individuales de 21 estudiantes y profesores de titulaciones agrarias y forestales del Instituto Politécnico de Bragança sobre siete objetivos de gestión. Se ha seleccionado este perfil porque conocen la problemática vinculada al problema de decisión y están familiarizados con los criterios a evaluar.

Para recoger las valoraciones individuales se han usado dos encuestas asociadas a cada método respectivamente, que permiten valorar la importancia de siete objetivos de gestión para el Parque Natural de Montesinho: Investigación, Áreas Prístinas, Biodiversidad, Conservación Estricta, Turismo, Educación y Uso Sostenible. En la Tabla I se muestra una breve explicación de cada uno de los objetivos de gestión.

TABLA I: DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE GESTIÓN

<i>Objetivo de Gestión</i>	<i>Descripción</i>
Investigación	Investigación científica y seguimiento
Áreas Prístinas	Mantenimiento de áreas no modificadas/ vírgenes
Biodiversidad	Preservación de la biodiversidad a nivel de genética, especies y ecosistemas
Conservación Estricta	Mantenimiento in-situ de ecosistemas y hábitats naturales y seminaturales para especies en su contexto natural
Turismo	Promoción de visitas, actividades turísticas y recreación
Educación	Desarrollo de educación pública sobre el valor de las especies y sus hábitats
Uso Sostenible	Promoción del uso sostenible de los recursos naturales

Los objetivos de gestión a evaluar se han basado en algunos objetivos considerados por la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza para designar las categorías internacionales de protección [24]).

### III. RESULTADOS

En primer lugar se han obtenido los resultados analíticos del cálculo matricial de todas las evaluaciones para obtener una primera jerarquía de los criterios. Estos se muestran de tres formas: i) los resultados de todas las matrices obtenidas, ii) los resultados de únicamente las matrices consistentes y iii) los resultados de las matrices con la inconsistencia corregida por programación lineal. Los tres resultados ofrecen prácticamente el mismo ranking de objetivos de gestión. Si se compara el ranking de todas las matrices con el de las matrices

consistentes, el ranking no varía, aunque el índice de consistencia se reduce. Por otro lado, al corregir las inconsistencias, únicamente varían las posiciones 4 y 5 del ranking.

Por otra parte, se ha realizado un análisis para evaluar la robustez e los resultados. Para ello se han eliminado los dos criterios menos valorados en la primera evaluación, y posteriormente, se han eliminado los dos criterios más valorados. Estos resultados son mostrados en las Tablas III y IV respectivamente. El objetivo de este análisis es verificar cómo afectan las evaluaciones pareadas donde son incorporados estos criterios en la jerarquía e inconsistencia final. Como muestra la Tabla III, al descartar el criterio Turismo apenas varía la jerarquía final, sin embargo el criterio Educación cambia notablemente la jerarquía, por lo que se puede asumir que este criterio está introduciendo ruido e incertidumbre al sistema. Por otra parte, en la Tabla IV se muestra que descartar los criterios más relevantes apenas varía la jerarquía de los criterios menos relevantes, quedando siempre Turismo y Educación en últimas posiciones.

TABLA II: RESULTADOS GENERALES DE LOS PESOS OBTENIDOS UTILIZANDO TODOS LOS DATOS MATRICIALES (TODAS), SOLO LOS DATOS CONSISTENTES Y LOS DATOS CON LAS CONSISTENCIAS CORREGIDAS CON PROGRAMACIÓN LINEAL.

<i>Todas</i>		<i>Solo consistentes</i>		<i>Consistencias corregidas</i>	
Biodivers.	20.49%	Biodivers.	22.43%	Biodivers.	23.91%
Uso sostenible	13.39%	Uso sostenible	18.15%	Uso sostenible	17.30%
Áreas prístinas	13.35%	Áreas prístinas	16.78%	Áreas prístinas	14.61%
Conservación estricta	11.85%	Conservación estricta	13.19%	Investigación	13.43%
Investigación	11.06%	Investigación	11.25%	Conservación Estricta	12.01%
Educación	8.48%	Educación	10.11%	Educación	10.40%
Turismo	6.53%	Turismo	8.09%	Turismo	8.32%
Inc. Media	0.197	Inc. Media	0.053	Inc. Media	0
% cc/total	100%	% cc/total	47.62%	% cc/total	100.00%

TABLA III: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ROBUSTEZ DEL MODELO AL DESCARTAR DE LA MATRIZ LOS DOS CRITERIOS MENOS RELEVANTES

<i>Todas las evaluaciones</i>					
Biodivers.	22.80%	Biodivers.	22.90%	Biodivers.	25.93%
Áreas prístinas	14.89%	Áreas prístinas	14.64%	Áreas prístinas	16.52%
Uso sostenible	14.75%	Uso sostenible	14.29%	Uso sostenible	15.34%
Conservación estricta	12.85%	Conservación estricta	12.84%	Conservación estricta	14.03%
Investigación	11.17%	Investigación	12.24%	Investigación	12.24%
Educación	9.21%	Turismo	7.40%	Turismo	-
Turismo	-	Educación	-	Educación	-
Inc. Media	0.232	Inc. Media	0.221	Inc. Media	0.356
% cc/total	100%	% cc/total	100%	% cc/total	100%

<i>Solo evaluaciones consistentes</i>					
Uso sostenible	25.18%	Uso sostenible	19.96%	Biodivers.	41.78%
Biodivers.	21.47%	Investigación	17.07%	Uso sostenible	20.40%
Áreas prístinas	17.03%	Turismo	16.65%	Conservación estricta	15.66%
Conservación estricta	12.99%	Áreas prístinas	16.46%	Áreas prístinas	14.32%
Investigación	12.66%	Conservación estricta	16.19%	Investigación	7.84%
Educación	10.67%	Biodivers.	13.67%	Turismo	-
Turismo	-	Educación	-	Educación	-
Inc. Media	0.046	Inc. Media	0.057	Inc. Media	0.019
% cc/total	19.05%	% cc/total	19.05%	% cc/total	9.52%

TABLA IV: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ROBUSTEZ DEL MODELO AL DESCARTAR DE LA MATRIZ LOS DOS CRITERIOS MÁS RELEVANTES

<i>Todas las evaluaciones</i>					
Áreas prístinas	17.95%	Biodivers.	24.87%	Áreas prístinas	23.16%
Uso sostenible	17.47%	Áreas prístinas	16.04%	Conservación estricta	19.70%
Conservación estricta	15.05%	Conservación estricta	14.46%	Investigación	18.22%
Investigación	14.31%	Investigación	13.21%	Educación	13.05%
Educación	10.83%	Educación	9.71%	Turismo	10.42%
Turismo	8.22%	Turismo	7.77%	Biodivers.	-
Biodivers.	-	Uso sostenible	-	Uso sostenible	-
Inc. Media	0.217	Inc. Media	0.198	Inc. Media	0.298
% cc/total	100.00%	% cc/total	100.00%	% cc/total	100.00%
<i>Solo evaluaciones consistentes</i>					
Uso sostenible	29.19%	Biodivers.	22.22%	Áreas prístinas	28.09%
Áreas prístinas	16.19%	Áreas prístinas	20.92%	Conservación estricta	26.70%
Conservación estricta	16.16%	Investigación	16.51%	Investigación	23.91%
Educación	14.71%	Conservación estricta	15.15%	Educación	11.93%
Investigación	12.77%	Educación	13.31%	Turismo	9.37%
Turismo	10.98%	Turismo	11.89%	Biodivers.	-
Biodivers.	-	Uso sostenible	-	Uso sostenible	-
Inc. Media	0.048	Inc. Media	0.058	Inc. Media	0.052
% cc/total	23.81%	% cc/total	38.10%	% cc/total	23.81%

Con respecto a los resultados obtenidos por el método de votaciones, que se muestra en la Tabla V, se puede observar que el resultado ha sido prácticamente el mismo que el obtenido mediante la aplicación del AHP.

TABLA V: RESULTADOS OBTENIDOS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DE VOTACIONES EN 21 ENCUESTAS. Y SU COMPARACION CON LOS ANTERIORMENTE OBTENIDOS MEDIANTE EL AHP

Votaciones		AHP	
Biodiversidad	23.90%	Biodiversidad	22.43%
Uso sostenible	17.30%	Uso sostenible	18.15%
Áreas prístinas	14.60%	Áreas prístinas	16.78%
Investigación	13.40%	Conservación estricta	13.19%
Conservación estricta	12.00%	Investigación	11.25%
Educación	10.40%	Educación	10.11%
Turismo	8.32%	Turismo	8.09%

## IV. DISCUSIÓN

El AHP es uno de los métodos más utilizado en todos los campos de la ciencia, sin embargo ha sido y sigue siendo ampliamente criticado [12-13]. No obstante, el AHP ofrece la posibilidad de realizar un análisis de sensibilidad desde dos enfoques: i) el análisis de las inconsistencias y ii) análisis de sensibilidad sobre la reversibilidad del ranking al eliminar criterios de las matrices analíticamente.

Por otra parte, los métodos de votaciones son de más sencilla aplicación, no obstante presentan limitaciones para validar la robustez de los resultados.

El grado de inconsistencia no ha afectado al resultado agregado, ya que se ha obtenido el mismo ranking considerando estos tres casos: (1) agregando todas las valoraciones individuales, consistentes e inconsistentes sin corregir, (2) agregando únicamente las valoraciones consistentes y (3) agregando todas las valoraciones individuales, consistentes e inconsistentes con la inconsistencia corregida (Tabla II).

Por otro, lado el análisis de sensibilidad sobre la reversibilidad del ranking ha permitido identificar dos criterios muy robustos: el objetivo “Biodiversidad” ha sido el criterio mejor evaluado, mientras que el objetivo “Turismo” ha sido el criterio menos valorado. Además, se ha identificado un criterio que distorsiona el ranking global cuando es eliminado de las matrices consistentes: el objetivo “Educación”. Cuando este criterio es eliminado, el objetivo “Biodiversidad” que aparece en primera posición en todos los rankings, pasa a ocupar la última posición (Tabla III). Aunque este resultado no puede ser concluyente por el tamaño de la muestra utilizado, en trabajos futuros, donde el tamaño de la muestra debiera ser mayor, este resultado podría ser indicador de un conflicto o sinergia entre los objetivos “Biodiversidad” y “Educación”. Por último, la Tabla IV muestra que cuando se eliminan los dos criterios mejor valorados (“Biodiversidad” y “Uso sostenible”), los resultados del ranking no varían, de igual forma que si se eliminan del análisis los dos criterios menos valorados (“Educación” y “Turismo”). Estos muestran la robustez de los resultados conjuntos.

Por último, al comparar los resultados conjuntos obtenidos con el AHP y con el método de votaciones (Tabla V) no se observan diferencias significativas en ambos ranking, únicamente alterándose las posiciones 4 y 5 entre los objetivos “Investigación” y “Conservación estricta”. Obteniéndose, de

manera general, una jerarquía prácticamente idéntica en los dos métodos aplicados. Este resultado muestra la robustez de los resultados conjuntos y sugieren la validez de ambos métodos para solucionar problemas decisionales en el contexto de las áreas protegidas.

## V. CONCLUSIONES

Tanto el método AHP como el de votaciones, han resultado de gran utilidad para resolver problemas decisionales sobre gestión de recursos naturales.

Los objetivos de gestión más valorados para el Parque Natural de Montesinho son la Biodiversidad y el Uso Sostenible, mientras que los menos valorados son Turismo y Educación. Los dos métodos aplicados muestran prácticamente la misma jerarquía en estos criterios, habiendo diferencias mínimas en los intermedios.

La robustez de estos resultados queda validada por el análisis de las inconsistencias, el análisis de sensibilidad sobre la reversibilidad del ranking y la aplicación de dos métodos diferentes: votaciones y AHP. Aunque en este caso de estudio los resultados quedan limitados por el tamaño muestral, parece clara la utilidad de esta metodología para validar la consistencia en casos de estudio con muestras de mayor tamaño.

El método de votaciones en comparación con el método AHP es más sencillo de aplicar, sin embargo el método AHP permite un análisis más riguroso de inconsistencias y un análisis de sensibilidad que resulta en la obtención de pesos más representativos.

En un trabajo futuro se deben establecer las evaluaciones en grupos focales de agentes implicados que directa o indirectamente tengan relación con el Parque Natural de Montesinho, prestando especial atención a la identificación de objetivos críticos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer especialmente su colaboración a todos los alumnos y profesores del Instituto Politécnico de Bragança que han participado en este estudio.

## REFERENCIAS

- [1] M de Castro, and V Urios, "A critical review of multi-criteria decision making in Protected areas", Journal of Agricultural and Resource Economics, 16 (2), 2016, pp-89-109.
- [2] A Sen, "Development as freedom" Oxford Paperbacks. 2001.
- [3] S Greco, J Figueira, and M Ehrgott. "Multiple criteria decision analysis". Springer's International series. Springer, New York, 2005.
- [4] J Ananda, and G Herath, "A critical review of multi-criteria decision making methods with special reference to forest management and planning". Ecological economics, 68(10), 2009, pp. 2535-2548.
- [5] GA Mendoza, and H Martins "Multi-criteria decision analysis in natural resource management: a critical review of methods and new modelling paradigms". Forest ecology and management, 230(1), 2006, pp. 1-22.
- [6] L Diaz-Balteiro, J González-Pachón, and C Romero, "Measuring systems sustainability with multi-criteria methods: A critical review", European Journal of Operational Research, 258(2), 2017, pp. 607-616.



- [7] J Ananda, "Implementing participatory decision making in forest planning". *Environmental Management*, 39(4), 2007, pp. 534-544.
- [8] E Nordstrom, LO Eriksson, and K Ohman, "Integrating multiple criteria decision analysis in participatory forest planning: Experience from a case study in northern Sweden", *Forest Policy and Economics* 12, 2010, pp. 562-574.
- [9] TL Saaty, "The Analytic Hierarchy Process. Planning priority setting, resource allocation", New York: McGraw-Hill. 1980.
- [10] O S Vaidya, and S Kumar, "Analytic hierarchy process: An overview of applications", *European Journal of operational research*, 169(1), 2006, pp. 1-29.
- [11] D Schmoldt, J Kangas, G A Mendoza, and Pesonen, M. (Eds.). "The analytic hierarchy process in natural resource and environmental decision making", Vol. 3. Springer Science & Business Media. 2013.
- [12] F Pérez-Rodríguez, and A Rojo-Alboreca, "The triangle assessment method: A new procedure for eliciting expert judgement", *Expert Systems with Applications*, 72, 2017, pp. 139-150.
- [13] CA Bana e Costa, and JC Vansnick, "A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP", *European Journal of Operational Research*, 187, 2008, pp. 1422-1428.
- [14] J Kangas, and A Kangas, "Multiple criteria decision support in forest management—the approach, methods applied, and experiences gained", *Forest ecology and management*, 207(1), 2005, pp. 133-143.
- [15] A Kangas, S Laukkanen, and J Kangas, "Social choice theory and its applications in sustainable forest management—a review", *Forest Policy and economics*, 9(1), 2006, pp. 77-92.
- [16] TL Saaty, "Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes", *European Journal of Operational Research*, 168(2), 2006, pp. 557-570.
- [17] TL Saaty, "How to make a decision: the analytic hierarchy process", *European journal of operational research*, 48(1), 1990, pp. 9-26.
- [18] J González-Pachón, and C Romero, "A method for dealing with inconsistencies in pairwise comparisons", *European Journal of Operational Research*, 158(2), 2004, pp. 351-361.
- [19] MB Menezes, GJ da Silveira, and Z Drezner, "Democratic elections and centralized decisions: Condorcet and Approval Voting compared with Median and Coverage locations", *European Journal of Operational Research*, 253(1), 2016, pp. 195-203.
- [20] JG Lapresta, BL Rodríguez, and MM Panero "Generalización de la regla de votación de borda mediante el uso de preferencias lingüísticas: análisis de sus propiedades". 27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa. Lleida, 8-11 de abril de 2003.
- [21] JC Azevedo, C Moreira, JP Castro, and C Loureiro, "Agriculture abandonment, land-use change and fire hazard in mountain landscapes in northeastern Portugal" In *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation: Challenges and Solutions for Global Change*, Li, C. Laforteza, R. Chen J. Eds. HEP-Springer, Beijing 2011, pp. 329-351.
- [22] P M Fernandes, C Loureiro, M Magalhães, P Ferreira, and M- Fernandes M. "Fuel age, weather and burn probability in Portugal", *International Journal of Wildland Fire* 2012, 21(4), pp. 380-384
- [23] C Moreira, JP Castro, and J Azevedo, "Landscape change in a mountainous area in Northeastern Portugal: implications for management", *WSEAS International Conference on Urban Planning And Transportation (UPT'07)*, Heraklion, Crete Island, Greece, July 22-24, 2008.
- [24] A Lopez Ornat, A Pons and M Noguera, "Utilizacion de las categorias de gestión de areas protegidas de UICN en la region mediterranea". *Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Sevilla, Espana y UICN, Gland, Suiza y Malaga, Espana. 2007. 211 pp.*



# Monitorização Remota de Ecossistemas de Elevado Valor Natural

*O caso da Quercus pyrenaica Willd. no Parque Natural de Montesinho - Portugal*

Pedro Henrique Jandreice Magnoni<sup>1</sup>; José Manuel  
Correia Santos Ferreira Castro<sup>2</sup>

Escola Superior Agrária<sup>1</sup>  
Departamento do Ambiente e Recursos Naturais<sup>2</sup>  
Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Bragança, Portugal  
pedrojandreice@gmail.com<sup>1</sup>

Edivando Vitor do Couto<sup>3</sup>; José Hilário Delconte  
Ferreira<sup>4</sup>

Departamento de Ambiental – DAAMB<sup>3,4</sup>  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR  
Campo Mourão, Brasil

**Resumo**— Visando a utilização de ferramentas do Sensoriamento Remoto na monitorização de ecossistemas de elevado valor conservacionista, o presente trabalho teve como objetivo Através do exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho foi determinar a área de ocorrência da *Quercus pyrenaica* Willd. no Parque Natural de Montesinho (PNM) com base em informação espectral de diferentes composições de bandas em imagens Landsat 5 Thematic Mapper (TM). Através do SPRING 5.4.3 foram realizadas diversas classificações pelo classificador não-supervisado ISOSEG com diferentes composições de bandas e variação no índice de similaridade do processo de segmentação das imagens. Com auxílio QGIS 2.14.11 as classificações foram comparadas com a cartografia de referência e as classes mais representativas foram extraídas. Finalmente, através da sobreposição destas classes elaborou-se a cartografia da frequência destes carvalhais ao longo do PNM.

**Palavras-chave**—*Quercus pyrenaica*; SPRING; QGIS; ISOSEG; Não-supervisada; Cartografia da frequência.

## I. INTRODUÇÃO

A *Quercus pyrenaica* Willd. conhecida como carvalho-negral é uma espécie de elevado valor conservacionista e econômico. Em Portugal, esta espécie encontra-se como característica dominante das florestas e paisagens naturais em grande parte dos territórios do norte e centro interior sendo as regiões de Trás-os-Montes e Beira Alta as áreas de maior representação desta espécie no país. Esta, desempenha diversas funções, nomeadamente na conservação da biodiversidade e como importante fonte de matéria-prima lenhosa e não lenhosa [1,2].

Devido à importância que assume o monitoramento para a gestão de ecossistemas grande valor conservacionista, a disponibilidade de imagens com variadas resoluções espaciais, temporais, radiométricas e espectrais, como os satélites da série Landsat, proveniente dos avanços no campo do Sensoriamento Remoto e dos sistemas de informação geográfica (SIG), proporcionam técnicas avançadas para entender o funcionamento e manejar estes ecossistemas terrestres [3,4].

Um exemplo da aplicação dessas ferramentas são as classificações temáticas realizadas por algoritmos não-supervisados com SIG livres para a verificação do uso e cobertura do solo em uma determinada área. A utilização destes algoritmos baseados na segmentação de uma imagem multiespectral torna possível a diminuição de ruídos nas imagens classificadas e a geração de dados auxiliares a processos de treinamento necessários em mapeamentos temáticos supervisionados [3,4,5,6].

Através do exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho foi determinar a área de ocorrência da *Quercus pyrenaica* Willd. no Parque Natural de Montesinho (PNM) com base em informação espectral de diferentes composições de bandas em imagens Landsat 5 Thematic Mapper (TM).

## II. MATERIAL E MÉTODOS

Situado no Nordeste de Portugal Continental, a Norte dos Concelhos de Bragança e Vinhais, o PNM apresenta uma área de extensão de 74.229 hectares, altitudes que variam entre 438 e 1481 metros, e está localizado geograficamente entre os paralelos 41°43'47" e 41°59'24" de latitude Norte e os meridianos 6°30'53" e 7°12'9" de longitude Oeste [7].

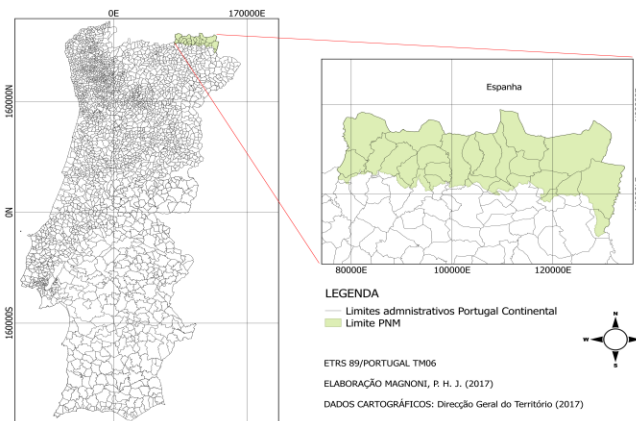


Fig. I. Mapa de localização do Parque Natural de Montesinho. Fonte dados cartográficos: [8].

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados dois softwares livres disponibilizados gratuitamente na internet. O primeiro, denominado Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil. O segundo, Quantum GIS (QGIS), é um SIG desenvolvido a partir de uma comunidade denominada Open Source Geospatial Foundation que conta com a colaboração de desenvolvedores ao redor do mundo [6,9].

Quanto aos dados usados, foram utilizadas as bandas multiespectrais das imagens Landsat 5 collection level-1 203/31 de 31/07/2007 obtidas através do Serviço Geológico do Estados Unidos da América. Salienta-se que as banda 6 (termal) desta série é disponibilizada com sua resolução espacial reamostrada de 120 para 30 metros [10]. Como cartografia de referência para comparação, utilizou-se a Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental de 2007 (COS2007) com grau de legenda N5 [11].

Inicialmente todas as bandas da imagem foram recortadas utilizando o limite do PNM como camada máscara e a COS2007 disponível apenas em formato *shapefile* foi convertida para formato *raster* de resolução 30 metros através do QGIS 2.14.11. Após a etapa anterior, através do SPRING 5.4.3 foram realizadas diversas segmentações da imagem utilizando diferentes composições de bandas pelo algoritmo crescimento por regiões com índices de similaridade 5 e 8 e área mínima de pixels igual a 10 em todas as classificações.

Por similaridade entende-se a semelhança entre o pixel candidato a ser incluso em um segmento e os parâmetros estatísticos dos pixels relativos ao segmento em questão. No algoritmo de crescimento por regiões este índice é determinado através da distância euclidiana entre os valores médios das reflectâncias expressas em níveis de cinza de cada região [5,6].

A partir das segmentações geradas foram aplicadas as classificações não-supervisadas no SPRING 5.4.3 através do algoritmo ISOSEG onde o limiar de aceitação utilizado foi igual a 95%. A fim de verificar quais classes oriundas do processo de classificação melhor representavam as manchas da *Quercus pyrenaica* Willd. existentes no PNM, utilizou-se no QGIS o plugin Accuracy Assessment com a COS2007 como cartografia de referência e as imagens classificadas como informação avaliada.

O cruzamento dos *rasters* utilizou todas as classes N5 da cartografia de referência e todas as classes aleatórias provenientes da classificação não-supervisada, gerando assim, arquivos de texto onde foram quantificados em números de pixels as classes aleatórias em relação classes da cartografia COS2007. Foram comparadas as frequências observadas para cada par classificação ISOSEG x COS2007 - N5 com as frequências que seriam de esperar em função da respectiva proporção, mediante ao termo simples da equação do chi-quadrado (equação 1):

$$(O-E)^2/E \quad (1)$$

considerando:

O – frequência de pixels observada de determinada classe ISOSEG coincidente com determinada classe na cartografia COS2007;

E – probabilidade de determinada classe ISOSEG coincidir com determinada classe na cartografia COS2007, obtida por:

$(\text{Total de pixels da classe ISOSEG} \times \text{Total de pixels da classe COS2007}) / \text{Total de pixels da imagem}$ .

Com esta avaliação foi possível identificar as classes ISOSEG que melhor discriminaram as manchas da *Quercus pyrenaica* Willd. na imagem e da data referida para cada classificação realizada, ou seja, segundo a combinação de bandas considerada e a similaridade utilizada.

A sobreposição dos resultados das diferentes classificações através da calculadora raster do QGIS permitiu a cartografia da frequência com que a espécie avaliada é identificada ao longo do território do PNM.

### III. RESULTADO E DISCUSSÃO

Mediante a aplicação da equação 1, verificou-se que quanto maior fosse a diferença entre: Frequência de pixels observada de uma determinada classe ISOSEG coincidente com determinada classe na cartografia COS2007 em relação a probabilidade da mesma classe ISOSEG coincidir com a mesma classe na cartografia COS2007, maior foi a aderência da classe aleatória em relação a classe de referência.

Através das classificações não-supervisadas realizadas no SPRING foram geradas dez imagens classificadas a partir de diferentes composições de bandas para os índices de similaridade 5 e 8 utilizados no processo de segmentação. O algoritmo ISOSEG classificou áreas homogêneas das quais se apresentam nas tabelas I e II, as 4 classes aleatórias geradas pelo algoritmo classificador, que em cada classificação apresentam resultados mais aderentes a classe 3.1.1.01.3 da COS2007 - áreas da *Quercus pyrenaica* Willd. no PNM.

TABELA I. Resultados obtidos nas classificações de similaridade 5.

Bandas	Nº de Classes	4 Classes mais aderentes	(O-E) <sup>2</sup> /E
432	17	5	77338
		7	31479
		12	17902
		3	5421
4321	16	4	69215
		6	53422
		3	7753
		2	3809
54321	23	3	71199
		22	22956
		8	18143
		9	3785
654321	29	13	75966
		3	65479
		12	9141
		2	5279
7654321	32	5	50430
		8	30979
		13	29402
		18	29006

TABELA II. Resultados obtidos nas classificações de similaridade 8.

Bandas	Nº de Classes	4 Classes mais aderentes	(O-E) <sup>2</sup> /E
432	11	3	108529
		2	10189
		4	5712
		5	4532
4321	11	8	98781
		3	11809
		2	9734
		9	3208
54321	19	16	69453
		17	31702
		3	13450
		2	5319
654321	24	3	110225
		12	10834
		5	2778
		2	2190
7654321	23	4	138512
		14	4296
		3	3354
		5	2495

As classificações realizadas com índice de similaridade 5 (Tabela I) resultaram numa segmentação de maior heterogeneidade do que as de similaridade 8, com o carvalho discriminado na COS2007 distribuído entre um maior número de classes.

Nas classificações de similaridade 8 (Tabela II) observou-se o contrário: uma segmentação mais homogênea, com as áreas da *Quercus* concentradas em um menor número classes. Como exemplo, a classe número 4 realizada com as bandas 7, 6, 5, 4, 3, 2, e 1, que apresentou uma diferença muito superior às demais entre os pixels observados e a respectiva probabilidade.

A inclusão de um número crescente de bandas proporciona maior informação espectral ao algoritmo segmentador, assim, o resultado obtido mostrou que o algoritmo ISOSEG apresentou maior acurácia quanto mais bandas foram aplicadas ao processo de segmentação e posteriormente a classificação.

Outro fator verificado, e a merecer desenvolvimento no futuro, foram os erros de comissão, ou seja, as demais áreas classificadas na classe do carvalho pelo algoritmo segmentador que não condizem com a COS2007, a cartografia de referência (Figura II).

A partir do gráfico tridimensional com as diferenças entre os valores observados e os esperados probabilisticamente, tendo no eixo x as classes mais representativas da segmentação e no eixo y as classes da cartografia de referência que mais coincidem com a anterior, é possível identificar quais dessas classes mais confusão causaram a classificação.

Na Tabela III temos a quantificação da área (Km<sup>2</sup>) coincidente entre a classe 4 da classificação de similaridade 8 com as bandas 7, 6, 5, 4, 3, 2 e 1 e as classes da COS2007 que mais causaram confusão, como mostrado na Figura II. A partir deste resultado torna-se possível entender a avaliação das frequências propostas pela equação 1.

Apesar de não serem propriamente manchas homogêneas de *Quercus pyrenaica* Willd., as áreas de carvalho com outras folhosas e matos densos definidas na cartografia de referência,

são formações vegetais presentes no PNM onde o carvalho-negral pode estar presente em menor abundância e em estados diferentes de desenvolvimento. Estes fatores poderiam influenciar o processo de segmentação da informação espectral e consequentemente a acurácia da classificação.

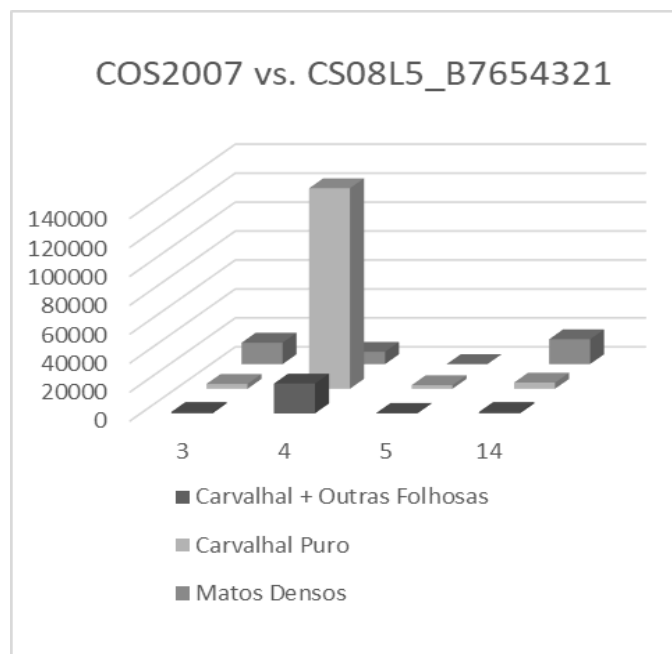


Fig. II. Classificação de similaridade 8 para as bandas 7, 6, 5, 4, 3, 2 e 1.

TABELA III. Áreas coincidentes da Classe 4 (ISOSEG, bandas 7, 5, 4, 3, 2 e 1) X COS2007

CLASSE 4 X COS 2007			
CLASSE COS2007	Área coincidente (Km <sup>2</sup> )	Área total da classe de referência (Km <sup>2</sup> )	Área total da classe 4 (Km <sup>2</sup> )
Carvalho	26,5	47,41	63,15
Matos densos	5,98	206,57	
Carvalho + outras folhosas	5,12	11,05	
Demais Classes	25,55	X	

Finalmente, através da extração da classe mais representativa dos carvalhais de cada imagem classificada, obtêm-se a cartografia da frequência com que uma determinada área foi classificada como mancha da *Quercus* no conjunto das classificações realizadas (figura III e IV), com o valor de 1 (100%) indicando a coincidência em todas as classificações.

As classificações de similaridade 8 apresentam as áreas dos carvalhais da *Quercus* distribuídas por um menor número de classes, resultando num mapa com valores mais elevados de probabilidade do que o de similaridade 5 onde houve dispersão de classes no cálculo da calculadora raster. Nestes mapas, as áreas que discriminam o carvalho simultaneamente em todas as classificações tornam-se candidatas para o treinamento de um algoritmo de classificação supervisionada cuja acurácia dependerá da tomada de amostras significativas do objeto de interesse.

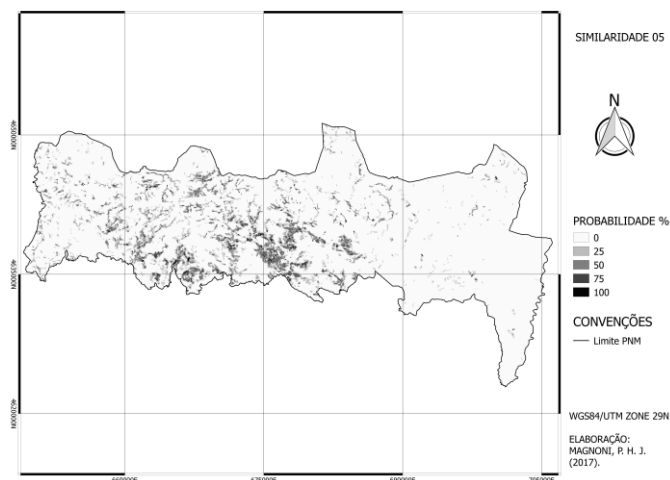


Fig. III. Cartografia da frequência para similaridade 5.

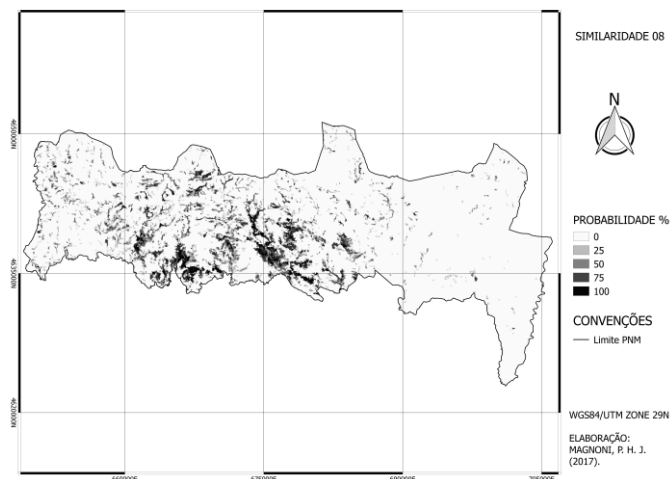


Fig. IV. Cartografia da frequência para similaridade 8.

#### IV. CONCLUSÃO

Para melhor representação das manchas de *Quercus pyrenaica* Willd., a classificação mais eficiente, segundo os parâmetros avaliados em este trabalho, foi a realizada com índice de segmentação 8 e todas as bandas espectrais incluídas. A partir deste resultado, é possível inferir que esta classificação foi aquela que melhor identificou a assinatura espectral destes carvalhais.

Apesar dos erros de confusão entre classes observados, como uma análise exploratória inicial, este tipo de abordagem pode auxiliar a tomada de decisão sobre amostras para uma classificação supervisionada. Áreas como a de matos densos classificadas como manchas da *Quercus pyrenaica* podem apresentar esta espécie em diferentes condições de abundância e desenvolvimento e em uma análise mais aprofundada, tentar identificar locais onde as florestas deste carvalho estão a evoluir.

Através da elaboração das planilhas entre as imagens classificadas e a cartografia de referência, observou-se a

importância da definição de um índice de similaridade e uma determinada composição de banda que melhor represente o objeto de interesse e diminua os erros comumente observados neste tipo de algoritmo classificador.

Finalmente, o presente trabalho mostrou o potencial do software livre SPRING para a aplicação de classificações não-supervisadas em imagens multiespectrais como as imagens geradas por satélites da missão Landsat.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Carvalho, J., Santos, J., Reimão, D., Gallardo, J., Alves, P., Grosso-Silva, J., ... & Carvalheira, M. (2005). O carvalho negral. Sersilto.
- [2] Carvalho, J., Alves, P., Grosso-Silva, J. & Santos, T. (2007). Biologia e ecologia das florestas de Carvalho-negral. Os carvalhais: um património a conservar, Coleção Árvores e Florestas de Portugal, (2), 99-120.
- [3] Lunetta, R. S., & Elvidge, C. (1999). Remote sensing change detection. CRC Press.
- [4] Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 65(1), 2-16.
- [5] Meneses, P. R., Almeida, T. D., Rosa, A. N. D. C. S., Sano, E. E., Souza, E. B. D., Baptista, G. M. D. M., & Brites, R. S. (2012). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: UNB/CNPq.
- [6] Câmara, G., Souza, R. C. M., Freitas, U. M., & Garrido, J. (1996). SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. Computers & graphics, 20(3), 395-403. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/papers/spring.pdf>
- [7] Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas. (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho. Bragança, PT. Disponível em: <http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ordgest/poap/popnm/popnm>
- [8] Direção-Geral Território. (2017). Carta Administrativa Oficial de Portugal - CAOP 2016. Lisboa, PT. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/carta\\_administrativa\\_oficial\\_de\\_portugal\\_caop/caop\\_em\\_vig/or/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/carta_administrativa_oficial_de_portugal_caop/caop_em_vig/or/)
- [9] QGIS Development Team. (2017). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>
- [10] United States Geological Survey. (2016). Earth Explorer. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/landsat-collections>.
- [11] Direção-Geral Território. (2017). Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 - COS2007. Lisboa, PT. Disponível em: [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/cartografia\\_tematica/carta\\_de\\_ocupacao\\_do\\_solo\\_cos/cos\\_2007/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartografia_tematica/carta_de_ocupacao_do_solo_cos/cos_2007/)



## Grapevine bioclimatic indices in relation to climate change: a case study in the Portuguese Douro Demarcated Region.

Daniel Blanco-Ward, Alexandra Monteiro, Myriam Lopes, Carlos Borrego, Carlos Silveira, Ana Miranda  
Department of Environment and Planning (DAO) &  
CESAM, Aveiro University  
3810-193 Aveiro, Portugal  
[dblancoward@ua.pt](mailto:dblancoward@ua.pt)

António Ribeiro, João Andrade, Manuel Feliciano,  
João Castro, David Barreales  
Mountain Research Centre (CIMO), School of Agriculture,  
Polytechnic Institute of Bragança, Campus de Santa  
Apolónia,  
5300-253 Bragança, Portugal

Carolina Viceto, Alfredo Rocha  
Physics Department & CESAM, Aveiro University  
3810-193 Aveiro, Portugal

Cristina Carlos  
Association for the Development of Viticulture in the Douro  
Region (ADVID),  
5050-106 Peso da Régua, Portugal

Carlos Peixoto  
Casa Ramos Pinto  
5150-338 Vila Nova de Foz Côa, Portugal

**Abstract**— Climate change is of major relevance to wine production as most of the wine-growing regions of the world, in particular the Douro region, are located within relatively narrow latitudinal bands with average growing season temperatures limited to 13-21°C. This study focuses on the temporal variability of three grapevine bioclimatic indices, which are commonly used as part of the Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification System (MCC) to classify the climate of wine producing regions worldwide. Dynamical downscaling of MPI-ESM-LR global data forced with RCP8.5 climatic scenario is performed with the Weather Research and Forecast (WRF) model to a regional scale including the Douro valley of Portugal for recent-past (1986-2005) and future periods (2046-2065; 2081-2100). Results indicate significant shifts towards warmer and dryer conditions during the growing season and higher night temperatures during the grape ripening period. An assessment on the statistical significance of the differences between the recent-past and the future scenarios and the potential impact on wine production in the study area is performed. These results will provide evidence for future strategies aimed to preserve the high-quality wines in the region and their typicality in a sustainable way.

**Keywords**— climate change, grapevine bioclimatic indices, wine production, Douro valley

### I. INTRODUCTION

There is a general acceptance by the scientific community of the reality of climate change in relation to human activities, especially concerning greenhouse gases (GHGs) emissions. Depending on the GHGs emissions scenario, it is expected an increase in global mean surface temperature from 1°C to 3.7°C by the end of the century when compared to the reference period 1986-2005 [1]. The influence of climate is critical in viticulture and wine production with climate having a greater impact on yield and quality than other environmental factors such as soil type or grapevine variety. Year-to-year meteorological variations affect the yield and the optimal environmental conditions for the grape to ripe and, therefore, whether wine typicality for a given 'terroir' or grapevine

growing region will be correctly expressed to achieve its full potential [2].

Most of the wine-growing regions of the world, in particular the Douro region, are located within relatively narrow latitudinal bands with average growing season temperatures limited to 13-21°C. Therefore, small changes in temperature could end affecting the typicity and styles of the wine produced in them, and even produce shifts in their potential for viticulture, making it too warm or better suited to produce quality wines than before [3].

The Multicriteria Climatic Classification System (MCC System) for grape growing regions worldwide [4] has been already used to assess the impact of climate change on the suitability for wine production across Europe. The indices were calculated from climate variables obtained from simulations with a grid size of about 25 km performed with the regional climate model COSMO-CLM for the recent-past climate (1960-2000) and for the 21st century (2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100) under the Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emission Scenarios (IPCC-SRES) B1 and A1B. The A1B scenario corresponds to a balance across all energy sources, whereas in the B1 scenario the emphasis is on environmental sustainability. All simulations were forced by ECHAM5/MPI-OM1 boundary conditions. The results of this study indicated an increased soil water deficit and cumulative thermal effects during the growing season in southern Europe, which could imply negative effects for wine production for these areas unless suitable adaptation measurements (e.g. rootstock and variety selection, training system, irrigation) are taken. In contrast, western and central Europe could benefit with higher quality potential for the grape and even new potential areas for wine production [5].

In another study, the atmospheric variables taken from coupled global and regional climate models (GCM-RCMs) simulations in combination with the MCC system were also used to assess present and future scenarios for the Portuguese grapevine growing regions. For present scenarios (1950-2000), the WorldClim project 1 km high resolution dataset [6],

validated with E-OBS observational data [7] was used. To assess the impacts of climate change on future viticulture suitability in Portugal, the period 2014-2070 under the IPCC-SRES A1B was chosen. An ensemble of 13 RCM simulations driven by 3 different GCMs produced by the ENSEMBLES project [8] was selected. To pass from the coarse grid RCM resolution  $0.22^\circ \times 0.22^\circ$  (~25 km) to the 1 km grid size of the WorldClim baseline dataset, a bi-cubical interpolation (pattern downscaling or 'delta' method) was used. The final results illustrated significant changes in the current bioclimatic viticultural Portuguese zones as they depict a lower bioclimatic diversity and a more homogenous warm and dry climate for most Portuguese wine regions [9].

The present research makes use of an ensemble of Weather and Research Forecasting (WRF) model simulations driven by two forcings, namely the European Reanalysis (ERA) Interim and the Max Planck Institute Earth System - low resolution model (MPI-ESM-LR). The simulations were performed for 20-year periods as adopted by the IPCC 5th Assessment Report [10], namely 1986-2005 for the recent-past, 2046-2065 for the mid-future and 2081-2100 for the long-future climate using the Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 new emission scenario [11]. More details on the climatological modelling can be found in the Data and methods section.

The ultimate purpose of this study is to evaluate whether the ERA-interim driven WRF simulations for the recent-past time period (1986-2005) can be used successfully to reproduce the climate of the Portuguese Douro Demarcated Region (DDR) as described by the Geoviticulture MCC system. The GCM MPI-ESM-LR driven simulations are used to assess the possible impacts of the estimated climate changes under RCP8.5 for the study area. Compared with other work previously done in the area, this study makes use of high-resolution  $9 \times 9$  km WRF simulations under the new RCP 8.5 scenario.

## II. THE STUDY AREA

The Portuguese Douro Demarcated Region (DDR) runs along both margins of the Douro River from its midcourse in the East up to the border with Spain in the West. The western most area of the region is located 70 km from the Atlantic Ocean. The Douro Valley extends along 90 km in the West-East direction and along 50 km in the North-South direction (Fig. 1). The landscape is characterized by mountainous terrain, rising above the Douro River and its tributaries, with moderate to steep slopes and varying exposures. The geology of the Douro Valley is dominated by schistose-layered rock, oriented nearly vertical, with some outcrops of granite. The average elevation over the entire region is 443 m, but ranges from a low near 40 m to a high of just over 1,400 m [12]. The Region covers approximately 250,000 hectares with vineyard area representing roughly 43,480 hectares, 17.4% of the total land area. The DDR is divided into three sub-regions: Baixo Corgo with the smaller area (45,000 ha), Cima Corgo with an intermediate extension (95,000 ha), and Douro Superior with the largest extension (110,000 ha). The vineyard figures for these sub-regions are 13,368 ha, 20,270 ha and 9,842 ha respectively [13].

The region is characterized topographically by sloping vineyards arranged in various terraced configurations. These terraces were created and perfected throughout the centuries enabling man to cultivate vines on the steepest slopes. After the phylloxera epidemic, the devastated small terraces were abandoned and new, wider and steeper terraces were built, with or without supporting walls and allowing for a greater planting density (approximately 6,000 vines per hectare). It was then, too, that vineyards were planted according to the natural slope of the land. The introduction of mechanization to the region at the end of the 60's and early 70's, led to the appearance of a new cultivation system composed by horizontal terraces with earth supporting walls, each bearing 1-2 rows of vines and with a low planting density of some 3,000 to 3,500 vines/ha. More recently, as an alternative to the wide terraces, vines are being planted in vertical rows rising up the steeper hillsides. With a planting density similar to that of traditional vineyards (about 4,500 to 5,000 plants per/ha), this system is better adapted to small plots of land with up to 40% slopes and can be worked by mechanical means [14].

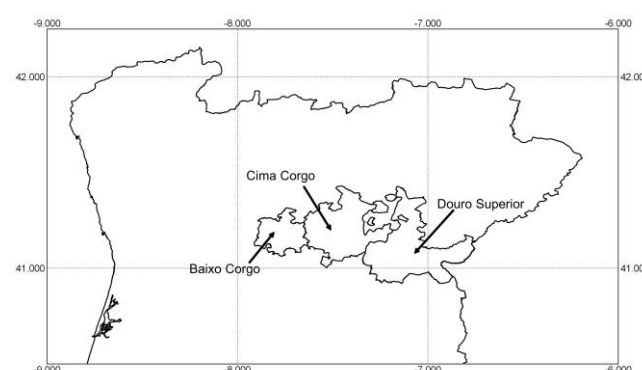


Fig 1. Douro Demarcated Region (Portugal).

The DDR has a Mediterranean climate, with highly variable rainfall events, concentrated in winter months, and hot summers. It is sheltered from Atlantic wet and cold winds by two mountain ranges, Marão and Montemuro, located at its western border. Temperature increases and precipitation decreases from West to East. The westernmost sub-region inside the Douro Valley (Baixo Corgo) is nearer to the Atlantic Ocean and therefore more affected by the moist maritime winds. The eastern most regions within the Douro Superior sub-area are more distant from the Atlantic Ocean therefore having a more continental climate influence. The region is classified as a warm temperate climate (Köppen Csb), with average annual temperatures during 1980–2009 of  $15.4^\circ\text{C}$ , average daily minima temperatures ( $T_{\min}$ ) in the coldest month dropping to  $2.7^\circ\text{C}$ , and average daily maxima temperatures ( $T_{\max}$ ) in the warmest month reaching  $32.1^\circ\text{C}$  [15]. Mean growing season temperature (GST) from April to September for the same climatological period is  $20.6^\circ\text{C}$ . Growing season precipitation (GSP) has a mean value of 193 mm, representing 30% of the annual total (624 mm). The average precipitation of the driest month (July) is just 11.2 mm. Low precipitation values along with high temperatures and high radiation exposure give rise to situations of intense summer plant-soil-water stress, particularly in the Cima Corgo and Douro Superior sub-regions [3].

Taking into account three meteorological stations representative of the three DDR sub-regions during 1980-2009, the Huglin Index (HI) in the area averaged 2,740 °C d<sup>-1</sup> whereas the dryness index (DI) had a mean value of -126 mm, and the cool night index (CI) one of 13.6 °C. In the Geoviticulture MCC System, the DDR climate is currently classified as HI+2/DI+2/CI+1 (Warm/Very dry/Cool nights) [4], [16]. Other renowned grape growing regions falling under this classification are the Napa Valley (US) and the Mildura wine district (Australia) [4]. Although the Geoviticulture MCC system is generally accepted as a useful tool to describe the climate of grape growing regions globally, it is advisable to keep in mind that there might also be considerable variations at the mesoscale due to different factors such as topography or distance to the sea [17]. In fact, values given for the Régua station within the Baixo corgo sub-region during 1951-80 were 2489 °C day<sup>-1</sup> for HI –close to the HI+1 2400 °C day<sup>-1</sup> limit of the temperate warm class-, -37 mm for DI –belonging to the DI+1 or moderately dry class-, and 12.8 °C for CI –falling inside to the same CI+1 category as the overall more recent classification- [18].

### III. DATA AND METHODS

#### A. High resolution 9 x 9 km WRF climate simulations

Marta-Almeida et al. [19] performed an ensemble of WRF high-resolution climate simulations driven by two forcings, namely ERA-Interim reanalysis and the Max Planck Institute Earth System - low resolution model (MPI-ESM-LR). The reanalysis data were obtained from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) through the ERA-Interim project, with a horizontal resolution of approximately 79 km [20]. The MPI-ESM-LR is a global Earth System Model developed by the Max-Planck Institute, with a 1.9° horizontal resolution [21] which corresponds to about 160 km horizontal resolution. This model participated in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), which uses new emission scenarios, namely the RCPs.

Currently there is a new set of RCPs associated to future concentrations of GHGs in the atmosphere. In this study we used the RCP8.5, defined by a radiative forcing of 8.5 W m<sup>-2</sup> by 2100 and a continuous increase after this year [22]. The RCP 8.5 provides an updated and revised quantification of the original IPCC A2 SRES scenario [23].

The WRF high-resolution climate simulations were performed for 20-year periods as adopted by the IPCC 5th Assessment Report [24], namely 1986-2005 for the recent-past, 2046-2065 for the mid-future and 2081-2100 for the long-future climate. These simulations were implemented for three nested domains with increasing horizontal resolutions, namely 81, 27 and 9 km (Fig. 2). Validation of the WRF recent-past simulations driven by the two forcings with observational temperature and precipitation datasets for the Iberian Peninsula provided acceptable comparisons of the probability distributions of temperature and precipitation for both models, with WRF-ERA providing better results most of the times although there are occasions where WRF-MPI performed better [14].

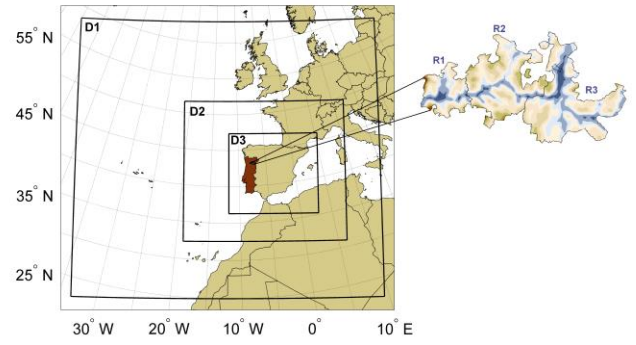


Fig 2. Nested model domains used in the regional WRF implementation with resolutions of 81 (D1), 27 (D2) and 9 (D3) km.

#### B. Grapevine bioclimatic indices

Three specific grapevine bioclimatic indices were selected: the Heliothermal index of Huglin (HI), the cool night index (CI) and the dryness index (DI). These indices are commonly used to characterize grapevine growing areas worldwide in a standardized way [4].

The HI provides information regarding heliothermal and berry sugar potential:

$$HI = \sum_{April\ 1st}^{September\ 30th} \frac{(T_{max} - 10C^{\circ}) + (T_{avg} - 10C^{\circ})}{2} d$$

$$T_{avg} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (1)$$

Tavg is the mean air temperature (°C), Tmax is the maximum air temperature (°C), d is length of day coefficient ranging from 1.02 to 1.06 between 40° and 50° of latitude. A value of 1.02 was assumed for a latitude between 40°01' and 42°00'. This index is usually calculated from monthly climatic means.

The purpose of CI is to improve the assessment on the grape qualitative potentials, notably in relation to secondary metabolites (polyphenols, aromas) in grape:

$$CI = \sum_{September\ 1st}^{September\ 30st} \frac{T_{min}}{30} \quad (2)$$

Finally, DI indicates the potential water availability in the soil, related to the level of dryness in a region. It is also related with the level of grape ripening and wine quality. It is computed as follows:

$$W = W_0 - P - T_v - E_s \quad (3)$$

Where W is the estimate of soil water reserve at the end of a given month, W<sub>0</sub> is the initial soil water reserve which can be accessed by the vine roots at that period of time, P total monthly precipitation, T<sub>v</sub> the potential transpiration of the vineyard and E<sub>s</sub> the direct evaporation from the soil. To compute T<sub>v</sub> and E<sub>s</sub> is also necessary to compute the monthly total potential evapotranspiration. This is usually done by the Penman-Monteith method but, as we only worked with temperature and precipitation records, it was approximated by the Hargreaves method, which produces comparable results in

arid and semiarid environments and requires temperature data only [34]. For intercomparison reasons,  $W$  is also calculated sequentially on a monthly basis during the same period used for HI (from April 1<sup>st</sup> to September 30<sup>th</sup>), which is acceptable for most of grape growing regions in the northern hemisphere. The result is the DI and units are mm of water in the soil. The initial  $W_0$  is usually taken as 200 mm.

#### C. WRF cell selection and statistics

One 9 x 9 km cell representative for each of the three subdivisions (Baixo Corgo, Cima Corgo and Douro Superior) present in the DDR region was selected to compute the three bioclimatic indices for each year belonging to the simulated 1986-2005 recent-past period. This was done by taking into account the GST values for each WRF-ERA cell within the DDR limits at the same time they were overlain on mapped vineyard areas as provided by the CORINE 2009 dataset [25] in a Geographic Information System (GIS) set-up as illustrated in Fig 3 of the Results section. Tests for the significance of differences in means and variances of the statistical distributions of bioclimatic indices between the different 20-year periods (recent-past, mid-future, long-future) as modelled by the WRF-MPI-ESM-LR set-up were implemented in the data visualization and statistical programming software package R.

### IV. RESULTS

#### A. WRF-ERA data validation

The high-resolution WRF simulations forced by ERA-Interim reanalysis resulted in realistic patterns of surface atmospheric variables. Fig 3 shows the spatial pattern of the grapevine growing season average temperature (GST) over the Douro valley as modelled for the final nested highest resolution (9 x 9 km) domain. Within the DDR, the GST values portray an East-West trend resulting from the orientation of the main valley itself and the increasing distance from the sea.

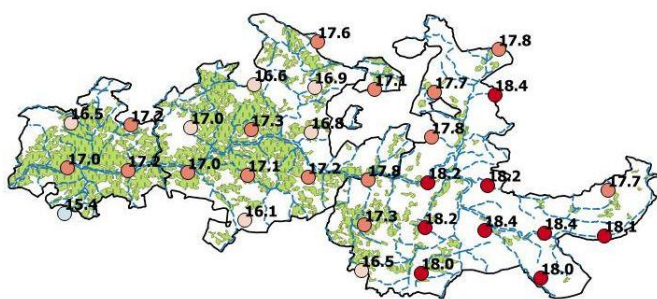


Fig 3. Growing Season Average Temperature (GST) as calculated by the 1986-2005 WRF-ERA simulation. The circles represent 9 x 9 km cell centres. Each WRF cell is associated with its GST value ( $^{\circ}\text{C}$ ). WRF cells with highest GST values are coloured with dark red tones whereas cooler areas are depicted with lighter red or even bluish tones. The DDR limits are represented with its main subdivisions (Baixo Corgo, Cima Corgo, and Douro Superior), main river courses and grapevine cultivated areas.

Table 1 portrays the WRF-ERA GST median statistics obtained for each one of the DDR sub-regions. The GST median values are close to those reported for the area by [3] based on the WorldClim 1 km x 1 km 1950-2000 database [6]. In fact, the average height of the selected WRF-ERA cells (416 m Baixo Corgo, 433 m Cima Corgo and 481 m Douro Superior) corresponds more to transitional sub-plateau locations than to sheltered valley areas where the Mediterranean climate characteristics are stronger.

TABLE I. GST STATISTICS FOR THE THREE DDR SUB-REGIONS.

1986-2005	GST medians	
Region	Model	WorldClim
Baixo Corgo	17.1	17.5
Cima Corgo	17.0	17.5
D. Superior	18.0	18.0

A closer inspection of the ombrothermic chart (Fig. 4) for the Douro superior WRF-ERA cell against climatological observations reported by an equivalent sub-plateau location in that sub-region, reveals a quite close match for precipitation (except for February and March). However, temperatures are significantly lower for all months ( $-1.8^{\circ}\text{C}$  on average), which could be in part explained by the difficulty to reproduce the specific mesoclimates associated to the varied topography and shelter effects present in the area. WorldClim figures for annual precipitation in the Douro Superior sub-region are significantly higher (median 832 mm) than those reported by the literature for a sub-plateau location (in the order of 500 mm) [3], [26].

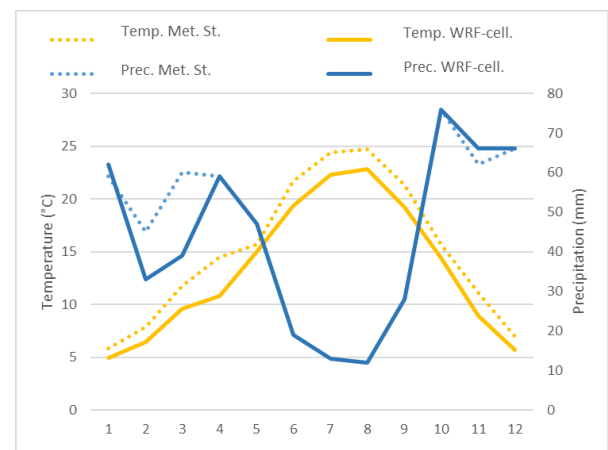


Fig 4. Ombrothermic chart comparing monthly average temperatures and total precipitations from the WRF-ERA cell selected within the Douro Superior region compared with literature sources [38]. Solid lines are for WRF-ERA cell data and dashed lines are for meteorological observations from the literature.

Results for the MCC bioclimatic indices under the ERA-Interim forcing for the Douro Superior cell are as following:  $2177^{\circ}\text{C day}^{-1}$  (HI),  $-22$  mm (DI) and  $12.5^{\circ}\text{C}$  (CI). These values correspond to a HI+1, DI+1, CI+1 (temperate warm, moderately dry, cool nights) global geoviticulture climate classification. Once again, these results are closer to what would be expected from a location exposed to a sub-Atlantic influence, such as a sub-plateau or a location less distant to the sea, rather than a sheltered bottom-valley location under stronger Mediterranean conditions.



## B. Grapevine bioclimatic indices and phenology fluctuations

Table 2 illustrates the differences found between the mean and the variance of the 20-year distributions of HI, DI, CI as obtained for the recent-past (1986-2005), mid-future (2046-2065) and long-future (2081-2100) MPI-ESM-LR RCP 8.5 driven simulations for the cell located within the Douro Superior sub-region. It can be observed that there are significant differences in the means in all cases except for DI between mid-term and long-term future. Regarding variances, only CI has significant differences between the mid-term and long-term future periods.

TABLE II. PRESENT AND FUTURE SCENARIOS FOR GRAPEVINE BIOCLIMATIC INDICES<sup>a</sup>.

		MPIr	MPI <sub>m</sub>	MPI <sub>l</sub>
<b>HI (°C day<sup>-1</sup>)</b>	$\mu$	1913**	2401**	2825**
	$\sigma^2$	32846	36466	37943
<b>DI (mm)</b>	$\mu$	71**	-22**	-53
	$\sigma^2$	4539	5126	5533
<b>CI (°C)</b>	$\mu$	12,4**	15,3**	17,6**
	$\sigma^2$	1,2	2,7*	1,1*

a. \* 95% significance level, \*\* 99% significance level

In Fig. 5, a HI shift is observed from temperate/temperate-warm conditions to warm conditions reaching even very warm conditions for some years in the long-future period.

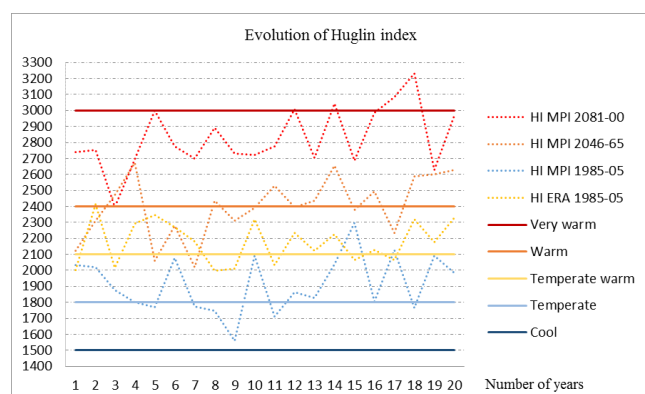


Fig 5. Evolution of Huglin index under ERA and MPI ESM-LR RCP 8.5 forcings.

In Fig. 6, a DI shift is observed from sub-humid to moderately dry and even very dry conditions for some of the years in the long-term future.

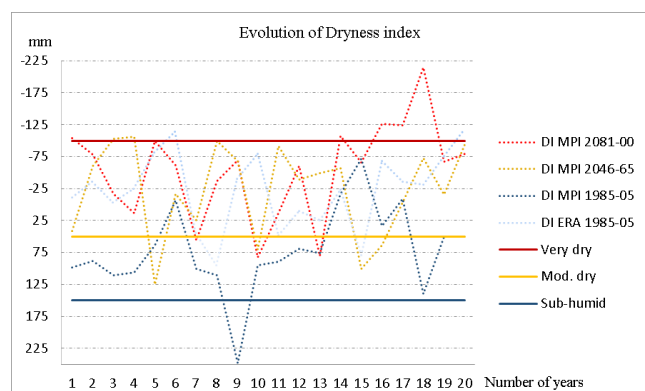


Fig 6. Evolution of Dryness index under ERA and MPI ESM-LR RCP 8.5 forcings.

In Fig. 7, a CI shift is observed from cool night to temperate nights even reaching warm-night conditions in the long-term future.

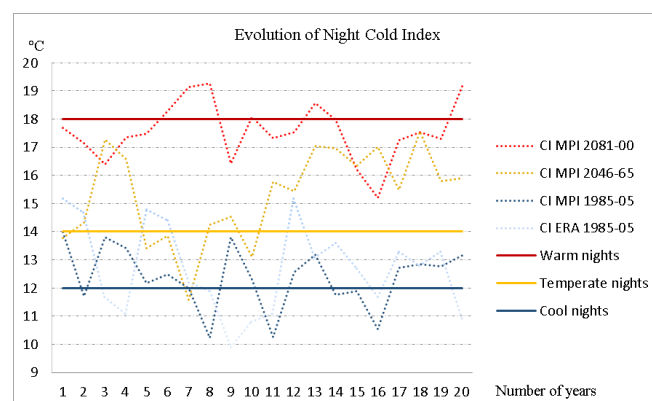


Fig 7. Evolution of Night Cold index under ERA and MPI ESM-LR RCP 8.5 forcings.

## V. CONCLUSIONS

The following conclusions can be drawn from this study:

- Climate MCC indices can be calculated from WRF-ERA and MPI simulations as a tool to assess the potential impacts of climate change on wine production.
  - The mid and long-term future changes in climate in under the RCP 8.5 scenario reveal significant shifts to warmer and dryer conditions in the DDR as already warned in other GCM-RCM studies at the European and the Portuguese scale [5], [9].
- Several actions can be proposed to preserve as much as possible DDR wine typicity taking current state-of-the-art knowledge [2] and previous work done in the study area [3]:
- Delay phenology by clonal selection, suitable rootstocks, and late-ripening local varieties or carefully selected non-local varieties.
  - Training systems and late pruning can also be useful to delay phenology and reduce water deficit.
  - Increase the soil water-holding capacity (SWHC) and select drought resistant rootstocks.
  - Carefully assess the need for irrigation as it has an economic, environmental and social cost.

## ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank the financial support of the DOUROZONE project (PTDC/AAG-MAA/3335/2014; POCI-01-0145-FEDER-016778) through the Project 3599 – Promoting the scientific production and the technological development, and thematic networks (3599-PPCDT) and through FEDER, and the national funds from FCT – Science and Technology Portuguese Foundation for the doc grant of C. Silveira (SFRH/BD/112343/2015).

## REFERENCES

- [1] IPCC (International Panel on Climate Change), "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Synthesis report.," 2014.
- [2] C. Van Leeuwen and P. Darriet, "The Impact of Climate Change on Viticulture and Wine Quality\*," *J. Wine Econ.*, vol. 11, no. 1, pp. 150–167, 2016.
- [3] G. V. Jones and F. Alves, "Impact of climate change on wine production: a global overview and regional assessment in the Douro Valley of Portugal," *Int. J. Glob. Warm.*, vol. 4, no. 3/4, pp. 383–406, 2012.
- [4] J. Tonietto and A. Carbonneau, "A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide," *Agric. For. Meteorol.*, vol. 124, pp. 81–97, 2004.
- [5] A. Malheiro, J. Santos, H. Fraga, and J. Pinto, "Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe," *Clim. Res. (Open)*, vol. 43, pp. 163–177, 2010.
- [6] R. J. Hijmans, S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones, and A. Jarvis, "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas," *Int. J. Climatol.*, vol. 25, no. 15, pp. 1965–1978, 2005.
- [7] E. J. M. Van Den Besselaar, M. R. Haylock, G. Van Der Schrier, A. M. G. Klein Tank, and A. M. G. Klein, "A European daily high-resolution observational gridded data set of sea level pressure," *J. Geophys. Res.*, vol. 116, 2011.
- [8] P. Van Der Linden, J. F. B. Mitchell, P. Gilbert, and P. Tulkens, "Summary of research and results from the ENSEMBLES project ENSEMBLES Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales," Exeter, UK, 2009.
- [9] H. Fraga et al., "Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: present and future scenarios," *Reg. Environ. Chang.*, vol. 14, no. 1, pp. 295–306, Feb. 2014.
- [10] IPCC (International Panel on Climate Change), "Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Summary for Policymakers.," 2013.
- [11] J. Sillmann, V. V. Kharin, F. W. Zwiers, X. Zhang, and D. Bronaugh, "Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections," *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 118, no. 6, pp. 2473–2493, Mar. 2013.
- [12] G. Jones, Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro : Uma análise das condições climáticas do passado , presente e futuro para a produção de vinho. 2013.
- [13] Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (IVDP), "Estatísticas. Área de vinha e sua composição. Ano 2016." [Online]. Available: [https://www.ivdp.pt/estatisticas\\_novo2.php?codIdioma=0&codEstatistica=2&codIdioma=0&periodos=461](https://www.ivdp.pt/estatisticas_novo2.php?codIdioma=0&codEstatistica=2&codIdioma=0&periodos=461). [Accessed: 27-Apr-2017].
- [14] Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (IVDP), "Statistics," 2017. [Online]. Available: <https://www.ivdp.pt/> (accessed 18/04/2017).
- [15] A. C. Real, J. Borges, J. S. Cabral, and G. V. Jones, "A climatology of Vintage Port quality," *Int. J. Climatol.*, Dec. 2016.
- [16] A. C. C.-R. de Sousa, "Analyzing the influence of the Douro valley weather on the quality and yield of vintage Port.," University of Porto, 2014.
- [17] D. Blanco-Ward, J. M. G. Queijeiro, and G. V. Jones, "Spatial climate variability and viticulture in the Mino River Valley of Spain," *Vitis*, vol. 46, no. 2, pp. 63–70, 2007.
- [18] P. Climaco, J. Ricardo-da-Silva, O. Laureano, and J. Tonietto, "REP-Clima viticola-portugal.pdf," in *Clima, zonificación, y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas Iberoamericanas.*, V. Tonietto, J. Sotés Ruiz, V.; Gómez-Migues, Ed. CYTED, 2012, pp. 315–357.
- [19] M. Marta-Almeida, J. ~ Ao, C. Teixeira, M. J. Carvalho, P. Melo-Gonçalves, and A. M. Rocha, "High resolution WRF climatic simulations for the Iberian Peninsula: Model validation," *Phys. Chem. Earth*, vol. 94, pp. 94–105, 2016.
- [20] D. P. Dee et al., "The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system," *Q. J. R. Meteorol. Soc. Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 137, pp. 553–597, 2011.
- [21] M. A. Giorgetta et al., "Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the coupled model intercomparison project phase 5," *J. Adv. Model. Earth Syst.*, vol. 5, no. 3, pp. 572–597, 2013.
- [22] Z. M. Moss R et al., "Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies. IPCC Expert meeting report. Temperature change. Precipitation change Sea Level Rise Extreme events," 2008.
- [23] K. Riahi et al., "RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions," *Clim. Change*, vol. 109, no. 1–2, pp. 33–57, Nov. 2011.
- [24] IPCC (International Panel on climate Change), "Climate Change 2013. The Physical Science Basis.," 2013. .
- [25] A. N. M- Caetano, V. Nunes, "Corine Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.," 2009.
- [26] J. A. Ribeiro, "Caracterização genérica da região vinhateira do Alto Douro," *Douro - Estudos & Documentos*, vol. V. pp. 11–29, 2000.



# *Pegada de carbono da produção de carne bovina no Nordeste de Portugal: comparação entre dois sistemas produtivos*

Pedro Henrique Presumido<sup>1</sup>

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Londrina, Brasil

Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal  
pedrohpresumido@gmail.com

Fernando Sousa<sup>2</sup>

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
fsousa@ipb.pt

Artur Gonçalves<sup>3</sup>

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
ajg@ipb.pt

Tatiane Cristina Dal Bosco<sup>4</sup>

Departamento Acadêmico de Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Londrina, Brasil  
tatianebosco@utfpr.edu.br

Manuel Feliciano<sup>5</sup>

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA  
Instituto Politécnico de Bragança,  
Bragança, Portugal  
msabenca@ipb.pt

**Resumo** – A indústria cárnica gera emissões elevadas de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. O setor pecuário mundial, por exemplo, é responsável por aproximadamente 18% das emissões globais dos gases do efeito estufa como CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. Este estudo teve por principal objetivo avaliar os impactos ambientais causados pelas emissões de GEE de dois sistemas produtivos de carne bovina - um semi-intensivo (SSI) e um extensivo biológico (SEB) - do Nordeste de Portugal. A metodologia seguiu uma abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV), tendo-se utilizado o software GaBi 6.0, na análise de inventário e na avaliação de impacto. Foi considerado as etapas da produção de alimentos, a produção e o abate de animais e, ainda, etapas a montante e a jusante, com a produção de energia, produção de fertilizante e a incineração dos resíduos cárnico gerados. Os resultados obtidos foram expressos em kg CO<sub>2</sub>-eq por kg de carcaça de bovino à saída do matadouro. Os valores obtidos foram de 22,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para SSI e 16,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para SEB. A fermentação entérica foi a maior contribuidora de GEE com 60,0% (SSI) e 61,1% (SEB), seguido pelo manuseio do dejetos com 35,6% (SSI) e 34,2% (SEB) e pelas emissões resultantes do uso de combustíveis e energia com 4,4% (SSI) e 3,9% (SEB). O matadouro, os transportes, o tratamento dos resíduos cárnico e a produção de fertilizante apresentaram uma baixa contribuição em termos globais. Os resultados mostram que SEB apresenta menores impactos em termos de aquecimento global devido à sua menor pegada de carbono, revelando-se uma opção viável para reduzir as emissões de GEE no setor da produção de carne em Portugal. Para o SSI, uma possível alternativa para minimizar os impactos ambientais seria aumentar o ganho de peso dos animais num menor período, diminuindo o tempo para o abate e as emissões de GEE.

**Palavras-chaves** – avaliação de ciclo de vida; gases do efeito estufa; impactos ambientais.

## I. INTRODUÇÃO

A indústria de produção de carne continua a crescer, gerando grandes quantidades de fluxos de resíduos orgânicos, elevados consumos de energia e água e elevadas emissões de gases. Assim, este setor vem enfrentando pressões económicas e ambientais significativas para reduzir o consumo de recursos materiais e energéticos e minimizar os impactos ambientais. Esta relação entre crescimento económico e melhoria do desempenho ambiental tornou-se um objetivo de investigação científica na última década [1].

A produção total mundial de carne bovina é aproximadamente de 60 milhões de toneladas em peso de carcaça produzida por ano. Os maiores produtores de carne são os Estados Unidos com 19,0% da produção mundial, seguido pelo Brasil com 15,3% e a União Europeia com 13,0% [2].

Em Portugal são abatidas cerca de 88.645 toneladas de gado bovino por ano, representando aproximadamente 70% das necessidades do mercado interno. O consumo nacional anual de carne é aproximadamente de 111,2 kg por pessoa, dos quais cerca de 17,9 kg são de carne bovina [3].

Existem grandes variações na estrutura agrícola e na utilização dos recursos dos diferentes sistemas de produção de carne bovina e, consequentemente, também na carga ambiental dos sistemas. A produção animal, mais comum, assenta na utilização de dois modelos denominados de intensivos e extensivos. Esses podem variar conforme o nível de tecnologia utilizada. Além destes dois modos de produção, existe o sistema produtivo biológico, onde as práticas adotadas procuram privilegiar as condições que contribuem para a preservação do ambiente com impactos positivos nos ecossistemas agrícolas [4].

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um poderoso conjunto de ferramentas para quantificar, avaliar, comparar e melhorar produtos e serviços em termos dos seus potenciais impactos ambientais. A ACV é, contudo, uma das metodologias com potencial e viabilidade de aplicação que estabelece uma visão genérica das consequências ambientais da produção de carne ao longo de todo o seu ciclo de vida. Neste contexto, todas as etapas relacionadas com a existência do produto são estudadas, desde a obtenção das matérias-primas necessárias, passando pelas várias etapas da produção do produto, até à sua disposição final [5].

A ACV foi considerada uma importante ferramenta para quantificar a intensidade dos GEE e a pegada de carbono na produção de carne bovina convencional e biológica em países como Suécia, Irlanda, Reino Unido e Austrália [6]. Segundo [7], as emissões dos gases do efeito estufa (GEE) em Portugal representaram um aumento de 15,7% face ao ano de 1990 e um crescimento de 7,1% em relação ao ano de 2014. Além disso, a pecuária em geral é responsável por aproximadamente 18% das emissões globais dos GEE [8]. Os maiores contribuintes são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) associado ao uso de combustíveis fósseis, o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) emitido pelos dejetos (e.g. estrume, urina) e associado à aplicação de fertilizantes nitrogenados, e o metano ( $\text{CH}_4$ ), que é gerado a partir da digestão dos ruminantes e do manuseio dos dejetos.

Neste contexto, este estudo visou investigar e quantificar as emissões de GEE, utilizando uma abordagem de ACV, comparando dois sistemas de produção de carne bovina prevalentes no Nordeste de Portugal – o sistema de produção semi-intensiva e extensiva biológica, para os quais existem poucos estudos sobre a intensidade de GEE.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Definição do Objetivo e Âmbito da Avaliação do Ciclo de Vida

O objetivo da ACV foi investigar as emissões diretas e indiretas de GEE associadas a dois sistemas de produção de carne do Nordeste de Portugal - sistema semi-intensivo (SSI) e sistema extensivo biológico (SEB). Foram quantificadas as emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) associadas às práticas agrícolas, ao uso de energia e de combustíveis. A análise é limitada aos aspectos ambientais, e não considera questões económicas e sociais. Para isso, foi utilizado o *software* GaBi 6.0.

### B. Fronteira do Sistema, Alocação e Unidade Funcional

A disponibilização de carne bovina ao consumidor envolve um conjunto de etapas bastante complexas como a produção da alimentação dos animais, a produção do animal, o seu abate nos matadouros e, por fim, o seu transporte para o mercado consumidor. Este estudo considerou a cadeia produtiva dos bovinos da produção de alimentos até ao matadouro, com os respetivos transportes, produção de energia, produção de fertilizante e incineração como tratamento dos resíduos cárnicos gerados (Figura 1).

A alocação consiste na divisão apropriada dos fatores de impacto do processo entre os produtos principais e os subprodutos do sistema. Utiliza-se esse procedimento quando, por exemplo, o sistema gera mais de um produto. Assim, a

alocação aplicada a este estudo foi efetuada com base na massa do peso dos animais [9].

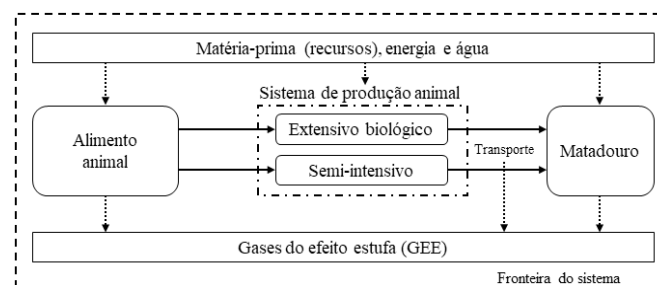


Figura 1. Descrição da fronteira do sistema para ACV da produção de carne bovina.

Para auxiliar a interpretação e a comparação dos resultados, a unidade funcional (UF) utilizada foi de 1 kg de carcaça de bovino à saída do matadouro.

### C. Características gerais dos sistemas

O SSI tem um total de 89 animais (incluindo vitelos, novilhas, vacas e touros). O parto ocorre durante todo ano e cada vitelo é desmamado com 7 a 9 meses de idade. A taxa de substituição é de 12 a 15% ao ano e a mortalidade nos vitelos entre o nascimento e o desmame é de 5%. Neste sistema, a idade do primeiro parto é entre 24 e 27 meses e a idade de abate é de 7 a 9 meses para vitelos e vitelas. A dieta para cada categoria de animais é composta principalmente por feno produzido no local e alimentos concentrados. Os dejetos, para este sistema, são acumulados nos alojamentos, tratados e, posteriormente, distribuídos no campo.

A exploração do SEB é constituída por 190 animais (incluindo vitelos, novilhas, vacas e touros). As vacas ficam em pastoreio o ano inteiro. O desmame ocorre entre os 6 e 8 meses de idade dependendo do mês de nascimento e, especialmente da disponibilidade de pastagem durante o ano. A taxa de substituição é de 8 a 10% e a mortalidade nos vitelos entre o nascimento e o desmame é de 2%. No SEB, a idade de abate é entre 6 e 8 meses para vitelos e vitelas. A alimentação animal também é produzida na própria exploração, predominantemente constituído por palha e feno, além da utilização de alimentos concentrados. No SEB, como os animais pastoreiam a maior parte do tempo, os dejetos ficam logo dispostos no campo.

As pastagens, tanto para SSI como para SEB, foram consideradas naturais, embora com recurso a adubação com superfosfato de cálcio 18% na quantidade de 200 kg por ha com aplicação a cada 2 a 3 anos.

O matadouro considerado como referência neste estudo faz o abate de vários tipos de animais, entre eles, os bovinos, caprinos, ovinos, suínos e aves. Contudo, o estudo teve como objetivo a ACV da produção apenas da carne bovina. O processo de abate tem um funcionamento de 28 horas de trabalho semanais, o que resulta em aproximadamente 600.000 kg de carne por ano. O combustível utilizado para a caldeira no matadouro é o gás natural. O gás natural é utilizado para a produção de água quente e para o cozedor de sangue do matadouro.

## D. Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Para análise de inventário do ciclo de vida, foi levado em consideração as entradas dos processos, definido como os recursos utilizados, e as saídas para o ambiente (emissões) ligadas à produção de carne bovina. Os *inputs* baseiam-se, principalmente, nos dados obtidos com questionários aplicados, mas também em informação recolhida junto de especialistas das diferentes etapas da fileira. Os principais *inputs*, expressos em kg por kg de UF encontram-se na Tabela I.

TABELA I. PRINCIPAIS *INPUTS* ASSOCIADOS COM OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO SSI E SEB, E PARA O PROCESSO DE ABATE NO MATADOURO.

Input	Quantidade	Unidade
<b>SSI</b>		
Água	0,0109	kg/kg de UF
Alimento animal	2,11	kg/kg de UF
Elettricidade	0,000544	kWh/kg de UF
Superfosfato de cálcio 18%	0,0306	kg/kg de UF
<b>SEB</b>		
Água	0,0237	kg/kg de UF
Alimento animal	3,42	kg/kg de UF
Elettricidade	0,000237	kWh/kg de UF
Superfosfato de cálcio 18%	0,067	kg/kg de UF
<b>Matadouro</b>		
Água	0,0076	kg/kg de UF
Animal vivo	1,80	kg/kg de UF
Elettricidade	0,146	kWh/kg de UF
Gás natural	0,252	kWh/kg de UF

A determinação das emissões foi assente na utilização de fatores de emissão específicos utilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) [10] e pela Agência Europeia do Ambiente (EMEP/EEA) [11]. As equações e os fatores de emissão utilizados para este trabalho, junto com as suas respetivas referências são mostrados na Tabela II.

TABELA II. FONTES DAS EMISSÕES DE GEE, EQUAÇÃO OU FATOR DE EMISSÃO USADO E REFERÊNCIA.

Emissão	Equação / fator de emissão (FE)	Referência
<b>Emissão devido à fermentação entérica</b>		
CH <sub>4</sub>	FE = 10 kg CH <sub>4</sub> animal <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Tier 1 [9]
<b>Emissões devido ao manejo dos dejetos</b>		
CH <sub>4</sub>	FE = 57 kg CH <sub>4</sub> animal <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Tier 1 [9]
N <sub>2</sub> O	= N excretado (kg) × FE × 44/28 FE = 0,07 kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup>	Tier 2 [9]
NH <sub>3</sub>	FE = 13,4 kg NH <sub>3</sub> animal <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Tier 1 [11]
COV <sup>a</sup>	FE = 8,902 kg COV animal <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> (SSI) FE = 3,602 kg COV animal <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> (SEB)	Tier 1 [11]
NO <sub>2</sub>	FE = 0,003 kg NO <sub>2</sub> animal <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	Tier 1 [11]
<b>Emissões devido aos combustíveis das máquinas agrícolas<sup>b</sup></b>		
CO	FE = 7,58 g CO (kg combustível) <sup>-1</sup>	Tier 1 [11]
CO <sub>2</sub>	FE = 3,14 kg CO <sub>2</sub> (kg combustível) <sup>-1</sup>	
NO <sub>x</sub>	FE = 33,37 g NO <sub>x</sub> (kg combustível) <sup>-1</sup>	
NO <sub>2</sub>	FE = 0,051 g NO <sub>2</sub> (kg combustível) <sup>-1</sup>	
NH <sub>3</sub>	FE = 0,0013 g NH <sub>3</sub> (kg combustível) <sup>-1</sup>	

<sup>a</sup> Compostos orgânicos voláteis.<sup>b</sup> Os valores assumem uma completa queima do combustível.

Os *inputs* e *outputs* dos processos de energia elétrica foram obtidas através da base de dados presentes no software GaBi 6.0. Para isso, foi utilizado um mix energético de produção de eletricidade para Portugal, onde estão incluídas as energias via queima de carvão, gás natural, combustíveis, biomassa, resíduos, energia hidroelétrica, fotovoltaica e eólica.

A base de dados do GaBi 6.0 também foi aplicada para os *inputs* e *outputs* dos transportes entre a produção animal e o matadouro (aproximadamente 50 km), produção do fertilizante,

o deslocamento dos resíduos gerados para a incineração e à caldeira do matadouro. Os dados foram consultados para aplicação em Portugal e/ou para a União Europeia.

A produção de concentrado animal não foi levada em consideração por este estudo, devido à pouca relevância global para as emissões de GEE como reportado no estudo de [12].

## E. Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

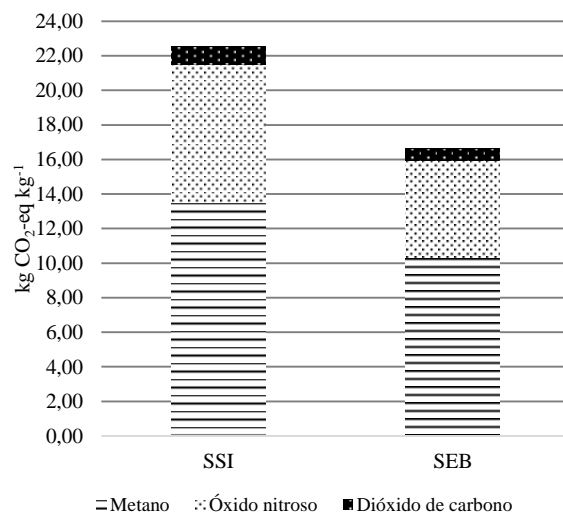
Na fase final de avaliação do impacto ambiental, os resultados foram interpretados em termos de potencial de aquecimento global (PAG) pelo método de CML 2001, proposta por [13].

A emissão de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) é a quantidade de emissão de dióxido de carbono que causaria o mesmo efeito radiativo integrado num determinado horizonte de tempo, como uma quantidade emitida de um GEE de longa duração ou uma mistura de GEE. A emissão de CO<sub>2</sub>-eq é obtida pela multiplicação da emissão de GEE pelo seu PAG para o horizonte de tempo dado [14]. A Equação 1 indica o modo de realização do cálculo do PAG. Onde, PAG<sub>a,i</sub> é o PAG para a substância “i” integrada ao longo de um ano, “a”, expressa em kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> de emissão e *m<sub>i</sub>* é quantidade de substância “i” emitida em kg.

$$\text{PAG} = \sum \text{PAG}_{a,i} * m_i \quad (1)$$

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão de gases do efeito estufa (GEE), para um sistema semi-intensivo (SSI) e um sistema extensivo biológico (SEB) de produção animal, são mostrados na Figura 2.

Figura 2. Valores obtidos para as emissões de GEE para a produção animal do SSI e SEB, expressos em kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> de UF.

Os valores obtidos para este estudo foram de 22,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para SSI e 16,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para SEB (Figura 2). As emissões médias de GEE resultantes da produção dos ruminantes em geral na União Europeia, incluindo a produção de alimentos, são de aproximadamente 20-23 kg CO<sub>2</sub>-eq por kg de carne. Sendo que, a média é de 22,2 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para a produção de carne bovina e de 20,3 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para a produção de carne ovina e caprina. Para a suinicultura e

avicultura os valores médios são de, 7,5 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> e 4,9 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, respetivamente. Os valores mais elevados de emissões de GEE dos ruminantes relativamente aos suínos e às aves deve-se, sobretudo, às diferenças verificadas pela prevalência dos gases CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Estas diferenças podem estar associadas a um processo de digestão mais eficiente e à ausência de fermentação entérica nos suínos e nas aves [15].

Os valores obtidos para a avaliação do PAG referente ao SSI estão próximos dos reportados em estudos de [16] que obtiveram valores de emissão de 23,0 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para os EUA, de [17], que estimaram valores de 23,4 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para o Brasil, de [18] com estimativas de 23,1 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para a produção de bovinos na Dinamarca e 25,4 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para a Suécia. Estudos de [19] reportam valores compreendidos entre 16,0 e 27,3 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, para a União Europeia.

Com a necessidade de promover a produção ambientalmente correta, a produção animal biológica aparece como uma alternativa. Os estudos efetuados por [20] na Alemanha e por [21] na Austrália concluíram que uma transição para a produção biológica ou orgânica poderia ser uma forma viável de reduzir o uso de energia e as emissões de gases de efeito estufa.

Os resultados obtidos para este trabalho, para as emissões de GEE do SEB, estão de acordo com [22], que com o objetivo de analisar diferentes produções de animais encontraram para o SEB uma quantidade de 13,8 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>. Além disso, os autores discutem que as diferentes produções de bovinos podem diminuir as emissões de GEE, porém isso não deve afetar a produção de carne, procurando-se encontrar o equilíbrio entre a produção e o ambiente. Outros autores que também relataram valores próximos de emissões de GEE para o SEB são [23] para a Austrália com 17,5 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, [24] com 18,2 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para o Reino Unido e [25] com 14,8 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para a Suíça.

Os resultados sugerem que a carne bovina produzida a partir do SSI (22,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>) é mais intensiva em GEE do que a carne bovina pelo SEB (16,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>). Este resultado torna-se consistente com pesquisas anteriores, que mostraram que dietas de maior qualidade e com altas taxas de crescimento reduzem as emissões de metano dos ruminantes e de óxido nitroso do estrume, as quais são contribuintes chave para as emissões de GEE do ciclo de vida [26].

Num estudo em que se realizaram simulações para o Reino Unido, com intuito de reduzir a emissão de GEE [27], concluiu-se que os sistemas de acabamento de curta duração, mais ligados a uma maior produção num uso mais eficaz de alimentos para animais de consumo, podem reduzir substancialmente as emissões de GEE. O desenvolvimento de técnicas de manejo dos sistemas produtivos e uma melhoria na alimentação dos animais poderiam reduzir as emissões entéricas de metano em até 22% [28].

Além disso, pode haver diminuições substanciais das emissões de GEE na produção animal através da seleção genética, seleção e manejo de forragem, inibição de metano e manejo animal [29]. Uma solução proposta por [30] para reduzir essas percentagens é a melhoria na produção e intensificação da pastagem para diminuir o tempo de engorda necessária do animal para o abate e, consequentemente, as emissões de GEE.

Na Figura 3 são mostradas as principais contribuições para as emissões dos GEE para a produção do SSI e no SEB.

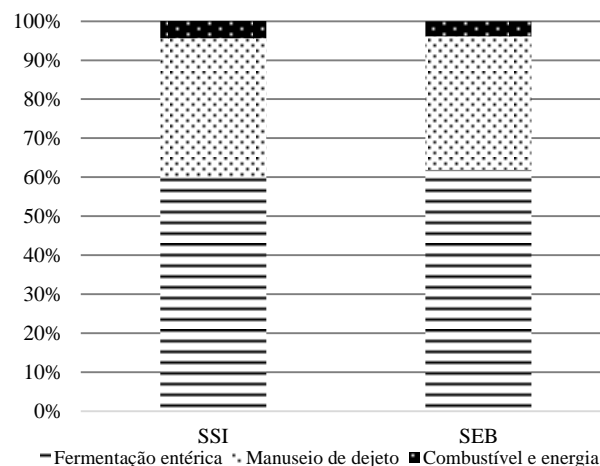


Figura 3. Contribuição relativa das principais fontes de GEE dos sistemas semi-intensivo (SSI) e biológico (SEB).

#### A. Fermentação entérica

O CH<sub>4</sub> proveniente do processo de fermentação entérica representa 60,0% e 61,9% das emissões totais de GEE para o SSI e SEB, respetivamente (Figura 3). Estes resultados são consistentes com outras análises que relatam a fermentação entérica que representa de 40-70% das emissões totais de GEE [31]. Porém, quanto se analisa os valores de emissões absolutas referente ao CH<sub>4</sub> observa-se maiores valores para o SSI com 8,0 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, contra 5,7 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> do SEB.

Além disso, [32] observaram valores maiores da contribuição de CH<sub>4</sub> entérico para o SEB (52,8%) do que o SSI (48,6%) para estimar o impacto ambiental de produções biológicas e convencionais em pequena escala em áreas de montanha. Em estudos desenvolvidos por [33] os sistemas de produção biológica também apresentaram uma maior contribuição do CH<sub>4</sub> entérico para as emissões GEE relativamente aos sistemas de produção semi-intensiva (SEB com 55% e SSI com 50%).

#### B. Manuseio de dejetos

O óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) a partir do manuseio de dejetos representou 35,6% (SSI) e 34,2% (SEB) das emissões totais (Figura 3). Os valores encontrados para este trabalho estão de acordo com os apresentados em [34] que reportaram uma contribuição de N<sub>2</sub>O para GEE entre 19-33%. A composição da alimentação dos animais nas diferentes variedades de exploração pode afetar o fluxo de N<sub>2</sub>O emitido para a atmosfera, em especial, o teor de proteína consumido influencia a digestão de azoto e as quantidades que são excretadas nos dejetos dos animais [35].

#### C. Uso de combustível e energia

As emissões resultantes do uso de combustíveis e de energia elétrica, que são maioritariamente de CO<sub>2</sub>, tiveram menores contribuições, 4,4% no SSI e 3,9% no SEB. Num estudo de [36], com o objetivo de quantificar a tendência de emissões de GEE para a indústria australiana de bovinos de corte, foram estimadas contribuições de dióxido de carbono de 3-5% a partir dos combustíveis fósseis e da energia elétrica

utilizada. As emissões de CO<sub>2</sub> representam uma parcela relativamente pequena da pegada de carbono comparado com a análise de todo sistema de produção de carne bovina [37].

A produção de fertilizante para as pastagens também foi considerada, devido sobretudo à dependência energética destes processos. Não obstante, a produção de fertilizantes apresentou pouca significância em relação às emissões globais de GEE, com contribuição de 0,052% para SSI e 0,154% para SEB.

#### D. Tratamento dos resíduos cárnicos gerados

O transporte e o tratamento por incineração dos resíduos cárnicos foram considerados pouco relevantes em relação às emissões diretas dos GEE sobre os dois sistemas estudados [38].

#### E. Processo de abate dos animais (matadouro)

Na Figura 4 são apresentados os resultados das emissões de GEE referente ao matadouro.

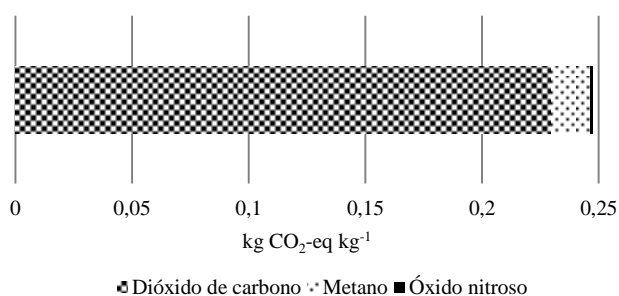


Figura 4. Valores estimados das emissões de GEE para a etapa do abate, expressos em kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> de UF.

Segundo [39], foram encontrados valores gerais para a produção de GEE em todo o sistema produtivo de carne bovina, desde a produção do alimento até ao abate, de 19 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, sendo que 0,2 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> foi atribuído aos processos do matadouro. Valores próximos foram encontrados pelo presente trabalho, no qual o matadouro apresentou 0,247 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>. Neste mesmo sentido, [40] relataram que as emissões de GEE associadas aos processos de abate foram de 0,18 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup>, ou cerca de 2% das emissões de GEE da produção animal. Estes resultados mostram que a intensidade de impacto ambiental relacionado com emissões de GEE nos matadouros é inferior à estimada para a produção animal.

A Figura 5 mostra as principais contribuições para os GEE sobre o matadouro em estudo.

A repartição das contribuições por fonte para as emissões de gases de efeito de estufa do processo de abate revela que o uso de insumos como calor e eletricidade, em especial, são os maiores contribuintes (70,6%), seguidos pela incineração como tratamento dos resíduos cárnicos gerados (19,3%) e do transporte (10,1%). Estes resultados estão de acordo com estudos de [39] que analisaram diferentes sistemas de produção de carne bovina, com especial enfoque na fase de abate.

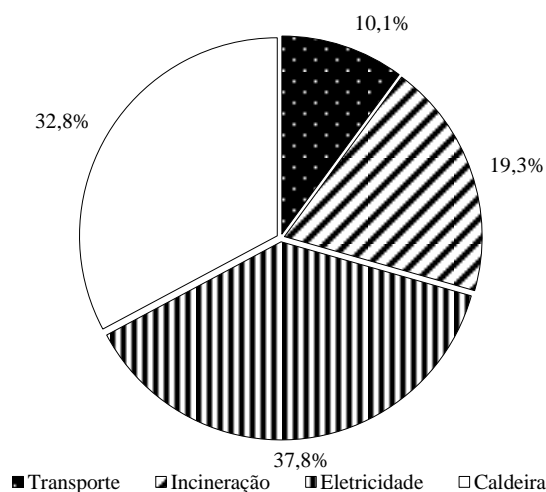


Figura 5. Contribuição relativa das principais fontes de GEE da etapa do processo de abate no matadouro.

## IV. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que a pegada de carbono da produção de carne bovina entre o SSI e o SEB são bastante diferentes: o impacto ambiental do SSI é de 22,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> contra 16,6 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> para SEB. A divergência entre os resultados está relacionada com uma maior quantidade de emissões de metano resultantes da fermentação entérica e do manuseio do dejetos, daí a necessidade de focalizar recursos para minimização destes impactos ambientais. O matadouro, os transportes associados, a produção de fertilizante e o tratamento dos resíduos sólidos apresentaram pouca significância quando comparadas com as contribuições da produção animal.

Como os resultados mostram que SEB tem impactos diretos e indiretos menores do que SSI, uma transição para a agricultura orgânica poderia ser uma forma viável de reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Para o SSI, uma possível alternativa para minimizar os impactos ambientais seria aumentar o ganho de peso dos animais em um menor espaço de tempo, assim, diminuindo o tempo de abate e as emissões de GEE.

Para o matadouro, as maiores contribuições foram principalmente a utilização de energia, tanto elétrica como térmica. Medidas de eficiência energética podem ser aplicadas para a minimização dos impactos causados. A diminuição dos GEE gerados pela incineração dos resíduos sólidos poderia ser diminuída com a busca de tecnologias para o reaproveitamento destes resíduos como subprodutos.

Os trabalhos futuros podem considerar a aplicação de estratégias de mitigação para reduzir as emissões de GEE da cadeia produtiva da carne bovina, em especial, sobre os efeitos de diferentes tipos de alimentação para os animais para a produção animal e melhoramento da eficiência energética para o matadouro.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem aos agricultores e as empresas envolvidas a disponibilização de dados relevantes para este estudo.

## REFERÊNCIAS

- [1] Santagata, R., Ripa, M., Ulgiati, S. (2017). An environmental assessment of electricity production from slaughterhouse residues. Linking urban, industrial and waste management systems. *Applied Energy* 186, 175–188.
- [2] USDA/Foreign Agricultural Service. (2016). *Livestock and Poultry: World Markets and Trade*. Office of Global Analysis.
- [3] Instituto Nacional de Estatística (2015). Produção de carne por tipo de carnes e consumo nacional. Acedido em 18 de maio de 2017, em: <http://www.ine.pt>.
- [4] Reganold, J. P., & Wachter, J. M. (2016). Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2 (February), 1–8.
- [5] Beauchemin, K. A., & McGeough, E. J. (2013). *Life Cycle Assessment in Ruminant Production*. In: E. Kebreab, editor, *Sustainable Animal Agriculture*. CAB International, Boston, MA. p. 212-237.
- [6] Pelletier, N., Pirog, R., & Rasmussen, R. (2010). Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103(6), 380–389.
- [7] Agência Portuguesa do Ambiente (APA). (2017). Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2017 – emissões 2015). Departamento de Alterações Climáticas (DCLIMA).
- [8] Vries, M. de, & Boer, I. J. M. de. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: a review of life cycle assessments. *Livest. Sci.* 128, 1-11.
- [9] Nguyen, T. T. H., van der Werf, H. M. G., Eugène, M., Veyssier, P., Devun, J., Chesneau, G., & Doreau, M. (2012). Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems. *Livestock Science*, 145(1–3), 239–251.
- [10] IPCC. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.
- [11] EMEP/EEA. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. European Environment Agency. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- [12] Tichenor, N. E., Peters, C. J., Norris, G. A., Thoma, G., & Griffin, T. S. (2017). Life cycle environmental consequences of grass-fed and dairy beef production systems in the Northeastern United States. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1619–1628.
- [13] Guinée, J. B., Gorée, M., ... & Huijbregts, M. A. J., (2001). LCA – An operational guide to the ISO-standards (Guinée et al.) – Part 2b: Operational annex (Final report. May 2001). Institute of Environmental Science (CML), Faculty of Science. Leiden University. The Netherlands.
- [14] IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [15] Leip, A., Weiss, F., Wassenaar, T., Perez, I., Fellmann, T., Loudjani, P., ... Biala, K. (2010). Evaluation of the livestock sector's contribution to the EU greenhouse gas emissions (GGELS) –final report. European Commission, Joint Research Centre, 32.
- [16] Lupo, C. D., D. E. Clay, J. L. Benning, & J. J. Stone. (2013). Life-Cycle Assessment of the Beef Cattle Production System for the Northern Great Plains, USA. *J. Environ. Qual.* 42:1386-1394.
- [17] Ruviaro, C. F., De Léis, C. M., Lampert, V. D. N., Barcellos, J. O. J., & Dewes, H. (2015). Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 96, 435–443.
- [18] Mogensen, L., Kristensen, T., Nielsen, N. I., Splith, P., Henriksson, M., Swensson, C., Hesse, A., & Vestergaard, M. (2015). Greenhouse gas emissions from beef production systems in Denmark and Sweden. *Livestock Science* 174, 126–143.
- [19] Nguyen, T. L. T., Hermansen, J. E., & Mogensen, L. (2010). Environmental consequences of different beef production systems in the EU. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, p. 756-766.
- [20] Haas, G., Wetterich, F., & Köpke, U. (2001). Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83(1–2), 43–53.
- [21] Wood, R., Lenzen, M., Dey, C., & Lundie, S. (2006). A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. *Agricultural Systems*, 89(2–3), 324–348.
- [22] Casey, J. W., & Holden, N. M. (2006). Greenhouse gas emissions from conventional, agri-environmental scheme, and organic Irish suckler-beef units. *J. Environ. Qual.* 35, 231–239.
- [23] Peters, G. M., Rowley, H. V., Wiedemann, S., Tucker, R., Short, M. D., & Schulz, M. (2010). Red meat production in Australia: Life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environmental Science and Technology*, 44(4), 1327–1332.
- [24] Williams, A.G., Audsley, E. & Sandars, D.L. (2006) Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra.
- [25] Alig, M., Grandl, F., Mieleitner, J., Nemecek, T., Gaillard, G., 2012. Ökobilanz von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch, Schlussbericht September 2012. Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich, Switzerland.
- [26] Beauchemin, K. A., Janzen, H. H.; Little, S.M., Mcallister, T.A., & Mcginn, S.M. (2010). Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agric. Syst.* 103:371-379.
- [27] Hyslop J. 2008. Simulated global warming potential and ammonia emission figures for a range of suckler herd breeding strategies and beef cattle finishing systems. *Livestock and Global Climate Change International Conference Proceedings*, Cambridge University Press, UK.
- [28] DeRamus, H. A., Clement, T. C., Giampola, D. D., & Dickison, P. C. (2003). Methane emissions of beef cattle on forages: efficiency of grazing management systems. *Journal of Environmental Quality*, 32(1), 269–277.
- [29] Wittenberg, K. M. (2008). Enteric methane emissions and mitigation opportunities for Canadian cattle production systems. The Vaccine and Infectious Disease Organization, Beef Technical Group.
- [30] White, R. R., Brady, M., Capper, J. L., & Johnson, K. A. (2014). Optimizing diet and pasture management to improve sustainability of U. S. beef production. *Agricultural Systems*, 130, 1–12.
- [31] Vergé, X. P. C., Dyer, J. A., Desjardins, R. L., & Worth, D. (2008). Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agricultural Systems*, 98(2), 126–134.
- [32] Salvador, S., Corazzin, M., Piasentier, E., & Bovolenta, S. (2016). Environmental assessment of small-scale dairy farms with multifunctionality in mountain areas. *Journal of Cleaner Production* 124 94-102.
- [33] Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). *Journal of Environmental Management* 149, 193-208.
- [34] Cerri, C. C., Moreira, C. S., Alves, P. A., Raucis, G. S., Castiglioni, B. D. A., Mello, F. F. C., ... Cerri, C. E. P. (2016). Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: A case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2593–2600.
- [35] Buratti, C., Fantozzi, F., Barbanera, M., Lascaro, E., Chiorri, M., & Cecchini, L. (2017). Carbon footprint of conventional and organic beef production systems: An Italian case study. *Science of the Total Environment*, 576, 129–137.
- [36] Wiedemann, S. G., Henry, B. K., McGahan, E. J., Grant, T., Murphy, C. M., & Niethe, G. (2015). Resource use and greenhouse gas intensity of Australian beef production: 1981-2010. *Agricultural Systems*, 133, 109–118.
- [37] Kissinger, M., & Dickler, S. (2016). Interregional bio-physical connections - A “footprint family” analysis of Israel’s beef supply system. *Ecological Indicators*, 69, 882–891.
- [38] Cederberg, C., Meyer, D., & Flysjö, A. (2009). Life cycle inventory of greenhouse gas emissions and use of land and energy in Brazilian beef production. The Swedish Institute for Food and Biotechnology.
- [39] Mogensen, L., Nguyen, T. L. T., Madsen, N. T., Pontoppidan, O., Preda, T., & Hermansen, J. E. (2016). Environmental impact of beef sourced from different production systems - focus on the slaughtering stage: input and output. *Journal of Cleaner Production* 133, 284-293.
- [40] Desjardins, R. L., Worth, D. E., Vergé, X. P. C., Maxime, D., Dyer, J., & Cerkowniak, D. (2012). Carbon footprint of beef cattle. *Sustainability*, 4(12), 3279–3301.



# *Anaerobic digestion of fourth range fruit and vegetable products*

*Comparison of three different scenarios for its valorisation by life cycle assessment and life cycle costing*

R. González, E.J. Martínez, J.G. Rosas, X. Gómez

IRENA, Universidad de León  
Avda. Portugal 41, 24071, León, Spain

D. Blanco

Bioenergía y Desarrollo Tecnológico, B&DT  
Avda. Portugal 41, 24071, León, Spain  
info@bioenergiaydt.com

**Abstract**— Changes in consumer demand due to improving knowledge, concerns around food safety and security, convenience and lifestyle choices towards a healthy diet have led to the development of a new market offering fruit and salad products ready to it. This is generating a new type of waste in agro-industry facilities characterised by a high quality of the organic fraction and the readiness of its recovery which greatly simplifies all posterior treatment steps. This study performed an evaluation of fourth range fruit and vegetable products generated in the vicinity of Toledo in NW Spain, utilising them in anaerobic digestion with posterior valorisation of digestate as a bio-fertiliser.

A life cycle inventory was developed and used to determine the potential environmental impact (based on ten impact categories) and cost for each scenario over a lifetime of 25 years. Energy consumption and material flows were included along with analytical data relating to biogas production at laboratory and pilot plant scale. Results inform the potential implementation of a more sustainable food production system by producing renewable energy and biostimulator. A comparison of results suggests that the largest contributors to environmental impact across the AD life cycle were reinforcing steel, cement, copper and cast iron associated with plant construction. The study shows that scenario 1 was the most economically attractive with a benefit of 476,010 Euros having taken account of capital costs, operating costs and revenues.

**Keywords**—Anaerobic digestion; life cycle assessment; life cycle costing; fourth range waste; digestate valorisation

## I. INTRODUCTION

Food systems play a central role in all societies and are fundamental to ensuring sustainable development [1]. Global food waste reduction is an international priority; in September 2015 United Nations countries adopted 17 new sustainable development goals [2]. Goal 12 (responsible consumption and production) includes an objective to halve per capita global food waste at the retail and consumer level, and reduce food losses along production and supply chains by 2030.

Competitividad through the project ENE2012-33027 All stages in the supply chain contribute to global greenhouse gas (GHG)

This research was made possible by the financial support from the Ministerio de Economía y Competitividad through the project ENE2012-33027

emissions from food production, but on average agriculture is the single biggest emitter [3]. The quest for improved sustainability and efficiency of food production is complex. There are many drivers that make anaerobic digestion (AD) technology a promising solution for fourth range products. Firstly there is widespread transition to a circular economy at varying scales and within a systems thinking approach [4]. This requires an assessment of environmental impact, a balance between supply and demand and a balance between social consequences and economic costs of products and services [5]. Producer responsibility may favour renewable energy and the proximity principle desires us to manage our waste streams as close to the point of origin as possible. Ultimately, to better inform decision-making, measures of sustainability using data are needed to make genuine comparative assessments across available technologies and multiple systems.

Life cycle assessment (LCA) is one of the most useful decision-making tool for selecting products, systems and management thanks to its ability to effectively analyse the energy needs, environmental impacts and cost benefits [6]. The use of this methodology has demonstrated that AD is preferable over composting and landfilling regarding energy use when different treatment alternatives for organic material are compared [7]. The application of LCA and Life Cycle Costing (LCC) have demonstrated to be useful tools for evaluating absolute environmental impacts and cost performances cumulated over the life time of an AD installation. LCC is an approach consistent with LCA since it evaluates the cost of a product along its complete life cycle, since both methodologies use a consistent definition for goal and scope [8].

Fourth range commercial products are defined as ready-to-eat fresh-cut fruit and vegetables that are additive free. The term was first coined in France. Post-harvesting operations include selecting, sorting, husking, cutting, cleaning, washing, drying, packaging, (with and without modified atmosphere), labelling, preservation (including cooling) and distribution. Therefore these products are more expensive than conventionally produced fruit and vegetables sold on the market for raw or post-cooking consumption. Despite this, there has been a strong demand growth. Spain and Italy are the

leading national fourth range fruit and vegetable producers and leading traders on the European market [9]. The treatment of these wastes close to the place where they are locally produced would offer a great number of advantages associated to the decrease in energy demands for transport as well as the direct valorisation of organic material.

AD potentially offers multiple benefits in providing energy security for producers, self-sufficiency, utilisation of local feedstock and utilisation of digestate. AD is an efficient technique for the treatment of biowastes and food wastes, as it recovers energy in the form of biogas which can be subsequently used in combined heat and power plants, or in vehicles, and for grid injection. In addition, AD also allows the recycling of nutrients through the application of digestates in crop production [10]. Although these benefits; social concerns are usually observed when the application of digestates is to be intended in some particular locations. The “not in my backyard” syndrome may be avoided by the valorisation of digestates into bioproducts when using for them a new different denomination that would set them away from a negative connotation. However, if the biogas industry is to mature into a sustainable energy production system, establishing marketing strategies for digestates and developing the digestate market will prove critical challenges [11].

The application of AD to the treatment of wastes from fourth range commercial products seems to be full of benefits, therefore an LCA methodology has been used in accordance with the ISO 14040/44 life cycle assessment guidelines to conduct a study that considers the immediate treatment of the waste on the generation point and subsequent transfer of the hydrolysed product to the AD facility. The most appropriate pretreatment system and transfer of the hydrolysed organic waste to the treatment site with the subsequent digestion of fourth-range waste was analysed. Biogas is obtained from the anaerobic digestion process, for which three alternative scenarios are presented. Digestate is utilised as bio-fertiliser considering nitrogen and phosphorus needs of typical crops.

## II. MATERIAL AND METHODS

### A. The process of the treatment facility

The analysed process chain is based on laboratory experiments and data obtained from a semi-industrial prototype built for the treatment of fourth range commercial products. The composition of organic material received for treatment was the following: Pineapple peelings (40.2%), pineapple cores (20.2%), apple peelings (10.6%), others (9.4%, composed mainly of mango peelings, pepper and cauliflower remains). Shredding of this material was performed using a JWCE Muffin Monster.

The treatment of fourth range wastes comprises the hydrolysis of the organic material during 3 days at temperatures of 5 and 20 °C. The hydrolysis was initially tested using small homogenous samples in Erlenmeyers flask of 250 mL of volume. Data of gas production and composition were collected.

The semi-continuous digestion was carried out in a completely mixed stirred reactor, with a working volume of 3

L and temperature set at  $34 \pm 1$  °C by means of a water jacket. The reactor had a hydraulic retention time (HRT) of 30 days and an organic loading rate (OLR) of  $3.85 \pm 0.2$  g VS/Lr d. The reactor was inoculated with biosolids obtained from the wastewater treatment plant of the city of León. The inoculum had a TS content of 26 g/L and an ammonium content of 1450 mg/L.

The substrate tested was the fresh material and the hydrolysed material. Both materials were tested in order to evaluate if the previous acidification step had a negative repercussion in biogas yields. The reactor was manually fed every day with a homogenous mixture of the fourth range waste. The reactor was operated for 90 days. Daily gas production was measured using a reversible device with liquid displacement and a wet-tip counter.

### B. Analytical techniques

Total solid (TS), volatile solid (VS) and chemical oxygen demand (COD) was measured in accordance with standard methods [12]. Proximate and ultimate analyses of the substrates were carried out using 5 g dried samples. C, H, and N were analysed using a LECO CHN-600 apparatus. A LECO SC-132 device was used to analyse total sulfur. Ash content was measured using a LECO MAC-300 thermogravimetric analyser (TGA). Organic matter (OM) was measured using the Walkley-Black method.

Fibre characterisation was carried out by determination of cellulose, hemicellulose and lignin analysis. For the measurement of chemical elements 0.3 g of sample were digested in 10 mL of nitric acid at 65% in a microwave oven at 100 °C during 5 min and subsequently at 190 °C during 30 min. A PerkinElmer Optima 2000 DV inductively coupled plasma atomic emission spectrometer (ICP-AES) was used for the quantification of P, Ca, Mg, Na and K. ICP-MS (mass spectrometry) Varian was used for analysis of the remaining elements.

Biogas composition was analysed using a gas chromatograph (Varian CP 3800 GC) equipped with a thermal conductivity detector. The columns separate CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, and O<sub>2</sub> with the use of helium as carrier gas. Volatile fatty acids (VFAs) were analysed using the same gas chromatograph. Samples were previously centrifuged (20 min, 3500 × g).

### C. The Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Cost (LCC)

In the present work LCA was used to assess the environmental impact of the treatment line for the valorisation of fourth range waste material by means of AD, the use of biogas and the utilisation of digestate as a source of nutrients for the production of an eco-friendly product.

The system includes all the processes involved in the treatment and conversion of the fruit and vegetable wastes from a fourth range producing facility into biogas and the posterior application of the biofertiliser. The treatment lines considers hydrolysis as the first step, then the digestion of the hydrolysed material, biogas valorisation by means of a

combined heat and power unit (CHP) and also the alternative of improvement of this biogas for its use as fuel for cargo transportation vehicles.

The ability to substitute electricity from the Spanish electricity-mix is also evaluated and the substitution of fossil fuels (oil) in boilers for heat generation. Finally, it is considered the replacing of a fraction of chemical fertilisers in agriculture by the use of the biofertiliser produced and the reduction in the need of mineral fertilisers thanks to the enhancement in plant assimilation by the use of the bio-fertiliser.

The subsystems to be evaluated in the LCA and LCC are the following:

- Pre-treating the waste by hydrolysis in tanks located at the source generation of the waste, with shredding to  $\leq 8\text{mm}$  carried out using a using a JWCE Muffin Monster prior to hydrolysis
- Transport of wastes by tankers to the treatment plant
- The anaerobic digestion plant
- Power generation by a cogeneration unit
- Biogas clean-up system (conventional high pressure water scrubbing)
- High compression system for utilisation of methane as vehicle fuel
- Land application of biofertiliser

To evaluate the different alternatives, three different scenarios have been developed and compared. Scenarios are described below:

Scenario 1: The food residue is deposited, after trituration in hydrolysis tanks constructed for this purpose. The residue is collected bi-weekly by truck and taken to the anaerobic digestion plant which is assumed to be located at 50 km as maximum distance. The biogas obtained is used in the generation of electrical and thermal energy through a CHP unit. All biogas produced in this scenario is used by the CHP unit. The electrical and thermal energy remaining, once all facility needs are covered, is sold.

In the case of using tankers trucks and agricultural machinery for the land application of the biofertiliser, only its operation is considered, not its manufacture and disposal. The emissions associated with the use of fuels and wear of elements (tyres, brakes, roads, etc.) during plant operation are included.

Scenario 2: Unlike the previous case, the use of a CHP unit is not included in this scenario. A biogas burner was considered to supply the thermal energy needs considered in this scenario, reducing therefore the amount of available biogas for other uses. Electrical power is consumed from the medium voltage Spanish power supply from the energy mix according to the database Ecoinvent V2.2 (Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2010). A cleaning stage for biogas using a high pressure water scrubber (HPWS) is considered from which upgraded biomethane is obtained. High pressure compression and storage of biomethane is also considered for utilisation in

vehicles transporting waste from the source point to the treatment plant. The biogas surplus is sold as biofuel. The use of vehicles is the same as scenario 1 but in this case the tankers use biomethane as fuel.

Scenario 3: In this scenario, combined generation of heat and power is considered just as in scenario 1. However, the construction of a system of pipes and pumps to bring the hydrolysate from the source point to the anaerobic digestion plant is considered. The pumping system is supplied with part of the electrical energy produced in the CHP unit, therefore decreasing the amount available to be fed into the national electricity grid. The application of the biofertiliser is a feature common to all three scenarios while the plant operation is slightly different based on the source of the energy used in the process and the use of the biogas produced by the plant.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

#### A. Results from laboratory experiments

Waste was depackaged at source prior to being accepted for hydrolysis. The chemical characteristics of the organic material are shown in Table I. The main characteristic of this mixture is the low nitrogen and high carbohydrate content, which indicates the great propensity of the material to acidification therefore rapidly lowering pH of the organic mixture.

TABLE I. CHEMICAL CHARACTERISATION OF THE WASTE MIXTURE USED FOR HYDROLYSIS AND SUBSEQUENT AD

Parameter	Value
<i>Ultimate analysis</i>	
C (%)	$46.2 \pm 0.72$
H (%)	$6.00 \pm 0.44$
N (%)	$1.52 \pm 0.11$
S (%)	$0.18 \pm 0.01$
<i>Physical analysis</i>	
TS (g/kg) <sup>(a)</sup>	
VS (g/kg)	
<i>Fibre analysis</i>	
Cellulose (%)	$16.8 \pm 0.8$
Hemicellulose (%)	$19.2 \pm 1.0$
Lignin (%)	$7.8 \pm 0.4$

<sup>a</sup>. TS: Total solid, VS: Volatile solid

The hydrolysis of this mixture was carried out at two different temperature conditions in an attempt to simulate the performance of the process during winter and summer periods. Data of gas production during the hydrolysis stage at 5 and 20 °C are presented in Table II. It can be seen that the gas composition is predominantly CO<sub>2</sub>. The methane content is negligible and its production takes place only during the initial hours of the process until the decrease in pH reach levels exceeding the limits of inhibitory conditions for methanogenic

microorganisms. As stated previously, this fast acidification is attained thanks to the high carbohydrate content of the substrate. The content in total solids was slightly modified after the hydrolysis for both assays resulting in a decrease of 7% at 20 °C and 6% at 5 °C. This reduction is associated with acidification of the material and the loss of VFA during the measurement of VS which are volatilised at high temperatures. Since, the volume of gas produced during the hydrolysis process is negligible, therefore in practical terms no significant loss of mass was attained during the hydrolysis process.

CODs increases with the hydrolysis process and as it was to be expected the higher values were obtained for the experiment carried out at higher temperatures. The content of VFA follows a similar trend, with higher VFA values being reported for the experiment performed at 20 °C. In spite of the presence of acetic and butyric acids in the soluble fraction, the presence of H<sub>2</sub> was not observed in the gas phase indicating that conditions may have not been favourable for the proliferation of *Clostridium* species.

TABLE II. RESULTS OBTAINED FROM THE HYDROLYSIS STAGE AT TWO DIFFERENT TEMPERATURE REGIMES

Temperature (°C)	20	5
Gas production (mL)	272.5 ± 13.6	140 ± 7
CO <sub>2</sub> (%)	99.2 ± 1.2	99.6 ± 1.1
CH <sub>4</sub> (%)	0.8 ± 1.0	0.4 ± 1.1
VS (g/kg)	107.1 ± 3.1	108 ± 2.7
CODs (g O <sub>2</sub> /L)	49.7 ± 2.9	38.5 ± 2.7
<i>VFA analysis</i>		
Acetic acid (mg/L)	526 ± 15	374 ± 11
Butyric acid (mg/L)	65.2 ± 1.6	69.1 ± 1.7
Valeric acid (mg/L)	232 ± 8.1	114 ± 4

The digestion process was carried out using the fresh material and the hydrolysed obtained at 20 °C. The volume of biogas obtained was similar for both systems resulting in an average specific methane production of 340 L CH<sub>4</sub>/kg VS. Around day 50 of operation, both reactors presented a serious decline in ammonium concentration causing a serious decline in gas production. The initial value of this cation was 1250 mg/L when the reactor started operation at a HRT of 30 d and this value lowered to 120 mg/L on day 50. This was due to the low nitrogen content of the feed.

The reactor was inoculated with biosolids, which presented high ammonium content, so the lack of nitrogen of the feed was initially supplied by the inoculum, but when no external supplied was available the reactor presented a serious perturbation. This impasse was corrected by the addition of a nutrient solution as proposed by [13], resulting in the recovery of the reactors to their initial performances. For LCA calculation a C/N ratio of 25 was assumed as needed for the stable performance of the AD process [14]. The extra supply in N, P and K content were discounted when calculating the substitution rate due to digestate land application.

## B. Life Cycle Assessment

Major contributors to most environmental impact categories are reinforcing steel, cement, copper and cast iron for the construction of the AD plant which requires a great amount of these materials. This subsystem is common to all three scenarios. These materials are of the most extractive intensity and energy demand during production so they have a strong impact on the categories under analysis. In the model of the digestion plant, cast iron is used as an approximation to represent the necessary machinery for operation of the plant. The greatest impact at end of the life stage of the plant is the final disposal of reinforced concrete.

On the other hand, the application of digestates is another subsystem which is common to all three scenarios. This involves the use of fossil fuels and the use of agricultural machinery, thereby generating negative impacts on the system. Due to the low dry matter content of the digestate, the concentration of nutrients is low, replacing a small amount of chemical fertiliser, although the land application of digestates allows for an extra reduction in the need of mineral fertilisers, this is still insufficient and therefore it does not compensate for emissions associated with the land application system. However, there may be other less obvious benefits associated with the use of digestates that aren't reflected in an analysis of this type. In general, depletion of abiotic resources and global warming, a positive impact is observed by the replacement of chemical fertilisers.

Although the production of energy from biogas by the CHP unit has a slightly negative impact based on consideration of scenario 1, the overall balance of the system has positive effects on the environment. Emissions are avoided thanks to the (electrical and thermal) energy obtained from biogas, by reducing energy from fossil fuels due to the substituting 120.4 MWhe-year from the Spanish electric mix and 144.9 MWhe-year from thermal power generation.

The main advantage of scenario 2 is the decrease in depletion of abiotic resources and lower destruction of the ozone layer by using biomethane to replace fossil fuels in road transport systems. However, the overall balance is negative on the environment. The main cause of negative effects is that the electrical energy required for the global process is covered from the Spanish grid. Energy demands are those require for the digestion process (14.06 MWhe-year), the cleaning of biogas through the scrubber (15.5 MWhe-year) and the conditioning of biomethane at high pressure to be sold as biofuel (10.66 MWhe-year). In addition to requiring electrical power which is obtained from fossil fuels, not having a cogeneration system makes impossible any replacement of the energy demand. The demand for thermal energy of the digestion process is covered by the combustion of biogas in a boiler which decreases the amount of available biogas for cleaning and posterior sale as biofuel. Although, biomethane available for sale (once covered fuel requirements for tankers for the transport of the hydrolysed residue) is sufficient to prevent the consumption of 20.3 t of diesel (10.6 t CO<sub>2</sub> eq), the emissions avoided are not sufficient to offset the negative impacts of the other subsystems that comprise the scenario.

Regarding scenario 3, the construction of the pumping and piping system for transporting the hydrolysate residue to the anaerobic digestion plant has a strong negative impact on the environment. The cause of the negative impact is the result of using construction machinery to dig the trenches for burying pipelines and production itself of PVC pipes for covering a total distance of 25 km from the source point. The overall balance of scenario 3 is positive. The positive impacts obtained by the replacement of fossil fuels are sufficient to counteract the negative effects caused by the other subsystems.

### C. Life Cycle Costing Analysis

Energy consumption and material flows were defined in the inventory of the LCA of the project. LCC has been carried out for the same scenarios previously detailed sharing the same system boundaries.

The size of scale in any type of technology is a key factor in investment and operating costs, which are reflected in the cost of waste treatment. Based on unit costs for different technologies, the initial investment of the anaerobic digestion plant with capacity of 1,000 tonnes per annum was established on 510,537 euros. Scenario 3 presents the highest investment costs with approximately 50% of the initial investment derived from construction of the pumping and piping system. Investments for scenarios 1 and 2 are similar. However the complexity associated with the fuel station represents an incremental cost for scenario 2.

The price of biomethane was set at the same price of a conventional fuel in order to be competitive. As for the price of the biofertiliser, this has been set for the companies participating in the FLEXINER project at 2.5 c€/L, a price which is conservative. Once unit costs have been established and based on the cost of material flows and energy consumption, costs for the functional unit (FU) of the LCA were defined, for the treatment of 1000 t of hydrolysed waste per year. Costs and revenues are presented in Table III.

Analysis of the operational phase shows that the scenario with the highest economic balance is scenario 3, which has the lowest maintenance costs and its cost of transport is negligible because of the use of electrical power for pumping. Scenario 2 presents a low cost for transport because of the use of biomethane instead of fossil fuels. However, maintenance costs and the high demand of staff makes it's the main characteristic of this scenario, resulting in a lower economic benefit. A higher personnel requirement is associated with biomethane upgrading.

Financial LCC provides useful information to determine the most feasible option for the use of biogas and biomethane produced. The scenario with the best economic performance is scenario 1, which considers the use of biogas in a CHP unit for electrical self-supply along with the sale of electricity and thermal energy surplus and selling of the biofertiliser for field application. The economic benefits at the end of the life cycle are around 476,010, 175,479 and 355,279 € for scenarios 1, 2 and 3 respectively.

There are many factors to consider when assessing the feasibility of an anaerobic digestion treatment system, ranging

from substrate characteristics, design factors such as process unit configuration, operational conditions and full product utilisation including heat recovery. The relationship between these factors is complex and market certainty is required.

TABLE III. COST AND REVENUES FOR ANALYZED SCENARIOS

Operational phase (€)	Scenarios		
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
<b>Maintenance</b>			
Digestion plant	7,659	7,659	7,659
CHP unit	660	-	660
Scrubbing tower	-	487	-
Fuel station	-	759	-
Pumps and piping	-	-	96
Electricity cost	-	596	-
Transport cost	21,355	15,437	-
Personnel (Technicians)	5,099	20,396	5,099
<b>Annual operating costs</b>	<b>34,772</b>	<b>45,333</b>	<b>13,321</b>
<b>Total operating costs over lifetime</b>	<b>869,302</b>	<b>1,133,325</b>	<b>333,032</b>
<b>Annual Revenues</b>			
Waste management	32,000	32,000	32,000
Electricity	16,860	-	16,697
Thermal energy	7,245	-	7,245
Biomethane as vehicle fuel	-	23,445,86	-
Biofertiliser	22,500	22,500	22,500
<b>Total annual revenues</b>	<b>78,605</b>	<b>77,946</b>	<b>78,442</b>
<b>Total revenues over lifetime</b>	<b>1,965,125</b>	<b>1,948,646</b>	<b>1,961,055</b>
<b>Balance</b>	<b>43,833</b>	<b>32,613</b>	<b>65,121</b>

Results presented here can be used to support the decision-making process when considering the implementation of anaerobic digestion technology compared with other options in the waste treatment technology landscape. Alternative scales and different types of AD systems may become cost-effective, depending on fiscal incentives, market prices and availability of different feedstocks. Co-digestion scenarios rather than mono-digestion may end up with different results; however, in the present work this option was discarded due to the negative public perception that has recently increased in society with regard to the land application of digestates derived from manures. Other co-digestion options may include energy crops such as maize that are specifically grown on brownfield sites for AD utilisation. Future work will be focus on nutrient recovery with the use of energy crops for improving biogas yields and coupling of AD and pyrolysis intended for increasing energy efficiency and nutrient cycling by land application of biochar. In addition, a recently published review suggests that CHP acidification and eutrophication from biogas

systems could be reduced by using units with catalytic converters and high efficiency [15]. This technological development has not been considered in the study reported here, but it will be the focus of future work.

## IV. CONCLUSIONS

Environmental and economic information for three different scenarios have been obtained by the application LCA and LCC methodology, regarding the management of fourth range organic waste by anaerobic digestion and the valorisation of biogas obtained.

The best overall environmental and economic performance was demonstrated by scenario 1 that is, the direct production of electricity by the use of a CHP unit. This scenario presents a lower initial investment, but has similar incomes to scenarios 1 and 2 with lower operating costs and lower cost for end of life. Good environmental performance, as demonstrated by LCA, is due to the fact that the electrical and thermal energy produced from biogas replaces the use of fossil fuels for the production of electricity and heat. The traditional land application of digestates is substituted in this study by the production of a plant growth promoting culture capable of enhancing nutrient assimilation by crops and therefore reducing the need of mineral fertilisers. This product is the key for the increasing the environmental benefits and economic feasibility of the waste management system.

## ACKNOWLEDGMENT

Authors thank the financial support of Ministerio de Economía y Competitividad through the project ENE2012-33027.

## REFERENCES

- [1] United Nations Environment Programme (UNEP), 2016. Food and food waste. <http://web.unep.org/resourceefficiency/what-we-do/sustainable-lifestyles/food-and-food-waste>

- [2] United Nations, 2015. Sustainable development goals. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>
- [3] T. Garnett, "Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)?," *Food Policy*, vol., 36, Supplement 1, pp. S23-S32, 2011.
- [4] W.R. Stahel, "The circular economy," *Nature*, vol., 531, pp. 435-438, 2016.
- [5] P. Ghisellini, C. Cialani, and S. Ulgiati, "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems," *J. Clean. Prod.*, vol., 114, pp. 11-32, 2016.
- [6] X. Su, and X. Zhang, "Temporal validation of life cycle greenhouse gas emissions of energy systems in China," *J. Clean. Prod.*, vol., 139, pp. 250-257, 2016.
- [7] G. Finnveden, J. Johansson, P. Lind, and Å. Moberg, "Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results," *J. Clean. Prod.*, vol., 13(3), pp. 213-229, 2005.
- [8] T.E. Swarr, D. Hunkeler, W. Klöpffer, H.L. Pesonen, A. Ciroth, A.C. Brent, and R. Pagan, "Environmental life-cycle costing: a code of practice," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 16, pp. 389. 2011. doi:10.1007/s11367-011-0287-5
- [9] Eurostat, 2017. The fruit and vegetable sector in the EU - a statistical overview. February 2017. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/The\\_fruit\\_and\\_vegetable\\_sector\\_in\\_the\\_EU\\_-\\_a\\_statistical\\_overview](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/The_fruit_and_vegetable_sector_in_the_EU_-_a_statistical_overview)
- [10] E. Tampio, S. Ervasti, T. Paavola, S. Heaven, C. Banks, and J. Rintala, "Anaerobic digestion of autoclaved and untreated food waste," *Waste manage.*, vol. 34(2), pp. 370-377, 2014.
- [11] J. Dahlin, C. Herbes, and M. Nelles, "Biogas digestate marketing: Qualitative insights into the supply side," *Resour. Conserv. Recy.*, vol. 104, pp. 152-161, 2015.
- [12] APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association. American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, DC.
- [13] G. Gonzalez-Gil, L. Seghezzo, G. Lettinga, and R. Kleerebezem, "Kinetics and mass-transfer phenomena in anaerobic granular sludge," *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 73 (2), pp. 125–134, 2001
- [14] H. Bouallagui, H. Lahdheb, E.B. Romdan, B. Rachdi, and M. Hamdi, "Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition," *J. Environ. Manage.*, vol. 90 (5), pp. 1844-1849, 2009.
- [15] O. Hijazi, S. Munro, B. Zerhusen, and M. Effenberger, "Review of life cycle assessment for biogas production in Europe," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol. 54, pp. 1291-1300, 2016.



# Solos e Risco de Erosão nas áreas ardidas no último quarto de século no Distrito de Bragança, NE de Portugal: abordagem cartográfica

Aline Cavalli

Estudante do Programa de Dupla Diplomação IPB/UTFPR  
no Mestrado em Tecnologia Ambiental  
Escola Superior Agrária – IPB, Bragança, Portugal  
alinecavalli94@gmail.com

Maria Clotilde Carré Chagas Neta

Estudante de Mobilidade Internacional IPB/UFPEL  
Escola Superior Agrária – IPB, Bragança, Portugal  
netamariacc@gmail.com

Tomás de Figueiredo

CIMO – Centro de Investigação de Montanha  
Escola Superior Agrária – IPB, Bragança, Portugal  
tomasfig@ipb.pt

Felícia Fonseca

CIMO – Centro de Investigação de Montanha  
Escola Superior Agrária – IPB, Bragança, Portugal  
ffonseca@ipb.pt

Zulimar Hernández

Grupo de Esafología, Departamento de Geología y  
Geoquímica  
Facultad de Ciencias, Universidad Autonoma de Madrid  
Madrid, Espanha  
zulimar.hernandez@uam.es

**Resumo**— A erosão hídrica, pelos seus efeitos na degradação geral da terra, é uma importante ameaça ao recurso solo em particular no NE de Portugal. As áreas ardidas em consequência de incêndios florestais possibilitam a expressão deste quadro de risco potencial de erosão severa.

Este trabalho, focado no Distrito de Bragança, baseou-se na informação sobre a ocorrência de incêndios disponível de 1990 a 2015 (ICNF), na Carta dos solos e da aptidão da terra do NE de Portugal e na Carta europeia de perda de solo por erosão hídrica (JRC – Joint Research Centre, aplicando o modelo RUSLE2015), tratadas em sistema de informação geográfica. O trabalho visou quantificar a distribuição dos solos, da aptidão da terra e das condições de erosão nas áreas ardidas nos últimos 26 anos no Distrito de Bragança, NE Português.

No período analisado o Distrito foi afetado por incêndios em 24% da sua área, queimando matos (70%) e floresta (20%). Os solos nestas áreas são maioritariamente delgados (Leptosolos, 90%), de aptidão nula ou marginal para usos agrícola (77% e 22%, respetivamente) e florestal (65% e 21%, respetivamente).

A taxa de erosão média anual situa-se abaixo do tolerável (2 ton.ha<sup>-1</sup>). Apesar disso, e configurando um quadro de risco não negligenciável, encontram-se valores muito críticos em algumas zonas, com as classes de erosão acima do tolerável a representar 41% do Distrito de Bragança. Faz-se notar que a Carta de perda de solo por erosão hídrica da Europa (JRC) utilizada neste trabalho, não considera a existência de áreas ardidas no território cartografado.

**Palavras-chave** — *Risco de erosão; Áreas ardidas; Carta de erosão da Europa (JRC); NE Portugal*

## I. INTRODUÇÃO

A erosão do solo é um dos problemas ambientais mais sérios relacionados com a gestão da terra em todo o mundo. Trata-se de um processo natural acelerado por atividades antropogénicas como desmatamento, práticas agrícolas, mineração de superfície, construção e urbanização [1]. Para a maioria dos solos, a principal consequência in loco do escoamento e da erosão hídrica é a degradação da terra. O risco de erosão varia com o clima, as características do solo, as mudanças profundas no uso da terra e as más práticas de uso e gestão do solo [2].

O Distrito de Bragança localizado na Região Nordeste de Portugal, é a divisão administrativa de maior representação de áreas suscetíveis à desertificação no norte do país [3], situação agravada pelo abandono do uso agrícola da terra, o que acarreta o crescimento de áreas de matos ocasionando acumulação de biomassa combustível potenciadora da ocorrência de incêndios florestais.

Os incêndios removem a cobertura vegetal protetora do solo, expondo-o a processos de erosão por ação das chuvas. A transferência de calor à superfície durante um incêndio ocasiona o aumento da temperatura no solo afetando as suas propriedades e em algumas situações os resíduos gerados pela queima podem causar uma condição de solo repelente à água que acentua ainda mais o escoamento e a erosão pós-fogo [4].

O trabalho tem como objetivo realizar, com base cartográfica, uma análise sobre a tipologia dos solos, da aptidão da terra e das condições de risco de erosão nas áreas

queimadas nos últimos 25 anos no Distrito de Bragança localizado no NE Português.

## II.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Área de estudo, período e ferramentas de análise

A área de estudo corresponde ao Distrito de Bragança, NE de Portugal, com extensão aproximada de 6600 km<sup>2</sup>. A pesquisa a respeito das áreas ardidas da região, baseou-se em dados disponibilizados pela plataforma online do Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF). No período de análise, de 1990 a 2015, as áreas atingidas estenderam-se por 2203 km<sup>2</sup> (Fig.1). Utilizou-se o *software* ArcGis no tratamento da informação cartográfica digital disponível.

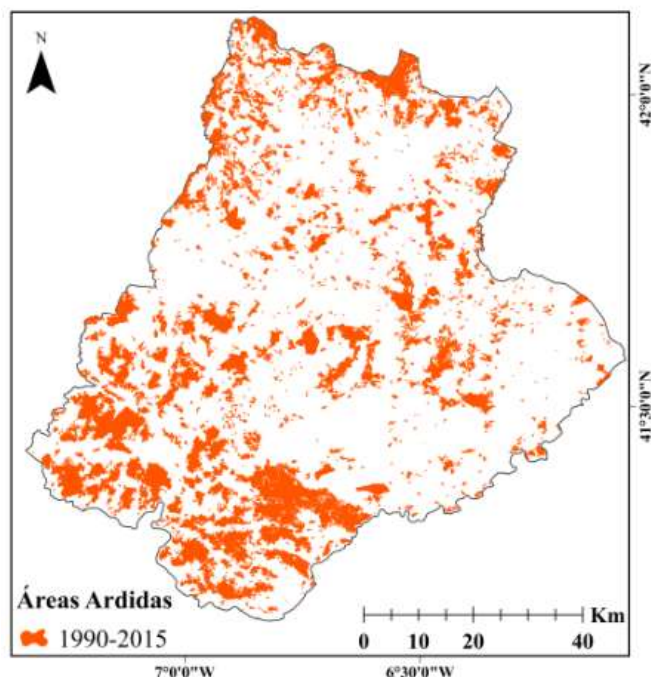


Fig.1 - Áreas ardidas nos últimos 26 anos no Distrito de Bragança  
Fonte: Adaptado de Portal ICNF, 2017.

### B. Uso da terra anterior ao incêndio

Para avaliar os usos da terra afetados pelos incêndios foram tomados os dados de 2001 a 2015, devido ao fato de nos anos anteriores não constar dos registos disponíveis na plataforma do ICNF informação suficiente para caracterizar especificamente o tipo de uso da terra no local ardido. De acordo com esta fonte, consideraram-se as classes de uso em “Floresta”, “Matos” e “Agrícola”, cuja extensão foi avaliada nas áreas ardidas em cada ano do período indicado.

### C. Recursos pedológicos e Aptidão da terra

Para as análises da tipologia dos solos e da sua aptidão para usos agrícolas (agrícola, pastagem, floresta) nas áreas queimadas, sobrepos-se a camada vetorial das áreas queimadas com as da Carta dos Solos e da Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal [5];[6]. Das tabelas de atributos associadas a estas cartas foi extraída a informações relativa a extensão de áreas ardidas, declive do terreno, espessura do solo, carência de água, pedregosidade e

a classificação correspondente da aptidão para uso agrícola, por pastagem e por floresta.

### D. Carta de erosão e Sistema de Informação Geográfica

A carta de perda de solo por erosão hídrica utilizada neste trabalho, foi resultado de um estudo da Comissão Europeia no âmbito da Estratégia Temática para o Solo na Europa conduzido pelo Joint Research Centre (JRC), face à preocupação com as elevadas taxas de erosão verificadas na União Europeia relacionadas com impactos negativos nos ecossistemas, na agricultura, na água para consumo e no armazenamento de carbono [7].

A carta foi disponibilizada em 2015 e cobre 28 países membros da União Europeia, com resolução de 100 metros e utilizando para a estimativa o modelo Equação Universal de Perda de Solo Revista, adaptado à informação de base disponível à escala europeia (RUSLE2015) (Equação 1).

$$E = R \times K \times C \times LS \times P \quad (1)$$

Em que:

**E**: perda média anual de solo (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); **R**: fator erosividade da precipitação (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>); **K**: fator erodibilidade do solo (t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>); **C**: fator de gestão de cobertura vegetal do solo (adimensional); **LS**: fator topográfico, combinando os efeitos de declive e comprimento da encosta (adimensional); **P**: fator de práticas conservacionistas (adimensional).

A aplicação do modelo RUSLE2015 neste contexto pressupõe a construção de “layers” dos fatores de erosão, em alta definição, e a sua sobreposição em ambiente SIG. De acordo com [7], nos 5 fatores utilizaram-se os dados mais significativos e com melhor resolução disponíveis nos vários países representados na carta.

Considerando que o valor de tolerância da perda de solo é um parâmetro de equilíbrio entre o processo de meteorização e de erosão do solo, Morgan (2005) reconhece a dificuldade de estimar as taxas de formação do solo visto que o tempo do processo é geralmente lento.[8] O valor de tolerância é dependente de fatores como a profundidade, a textura, o uso e cobertura que determinam a taxa de solo removido por erosão. Deste modo, são recomendados como valores toleráveis perdas de solo de 2 ton.ha<sup>-1</sup> e de 10 ton.ha<sup>-1</sup> para solos com substrato não renovável e renovável, respectivamente [9].

Sendo assim, a classificação apresentada na Tabela I foi realizada levando em consideração os valores de tolerância de perda de solo e a quantidade de informação obtida através da carta de erosão hídrica (JRC). A classe “No Data” diz respeito aos valores que não apresentam dados na carta. Esses casos são falhas no modelo digital de elevação, que após o processamento do raster para cada um dos fatores da RUSLE2015, não é mais possível realizar métodos de regressão para preencher esses dados. Entretanto, os mesmos devem ser considerados uma vez que compreendem a área total do raster.

O tratamento da carta tanto em unidades matriciais quanto vetoriais foi realizado no ambiente do software Arcgis no aplicativo ArcMap. Na referida carta de escala europeia, recortado a área do Distrito de Bragança transformou-se

oraster para pontos, com o objetivo de obter de cada pixel (100m x 100m) a informação numérica de perda de solo.

TABLE I. CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE PERDA DE SOLO

Classe	Perda de solo (ton.ha <sup>-1</sup> )
1	0,0 - 0,1
2	0,1 - 1
3	1 - 2
4	2 - 5
5	5 - 10
6	10 - 200
7	No Data

Na carta de perda de solo por erosão hídrica foram recortadas para cada ano entre 1990 até 2015 as áreas ardidas no Distrito de Bragança, obtidas em shapefile na plataforma do ICNF, sendo extraídos para cada ano os valores dos pontos da carta de perda de solo. O resultado foi exportado para folha de cálculo Excel, onde se calcularam as seguintes estatísticas de perda de solo: média ( $\bar{x}$ ), mínimo ( $\bar{x}_0$ ), máximo ( $\bar{x}_{100}$ ), primeiro quartil ( $\bar{x}_{25}$ ), mediana ou segundo quartil ( $\bar{x}_{50}$ ) e o terceiro quartil ( $\bar{x}_{75}$ ). Em seguida, foi realizada a reclassificação seguindo as diretrizes da Tabela I, para os shapefiles de área ardida. Esse procedimento possibilitou os cálculos de percentagem de área total e a identificação dos 5 anos de maior magnitude, que foram respetivamente do maior para o menor: 2013, 1998, 2003, 2000 e 1994. As áreas ardidas destes anos somam cerca de 41% de área ardida total de 1990 a 2015, a qual, por sua vez, corresponde a 33,4% da superfície do Distrito de Bragança. Para avaliar diferenças entre os anos deste grupo no padrão de distribuição das classes de perda de solo nas áreas afetadas, foi aplicada ANOVA a um fator (Ano, gl=4; gl total =34). Não se observaram diferenças significativas entre anos deste grupo ao nível de significância de 5% pelo que, o grupo foi tomado como homogêneo para efeitos de análise dos resultados.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### A. Uso da Terra anterior ao incêndios

A comparação anual entre as áreas ardidas quanto a sua classe de uso anterior ao incêndio (uso agrícola, florestal e matos) é apresentada na Fig. 2. Pode-se verificar a maior ocorrência de incêndios em zonas ocupadas por vegetação de matos, já que estas correspondem a cerca de 70% da extensão ardida ao longo dos últimos 15 anos. As extensas áreas de matos no Distrito de Bragança tem representação apesar disso inferior a 70% indicando que essas áreas estão menos sujeitas a restrições quanto a ignição e propagação do fogo. Para além da massa combustível acumulada e sua continuidade, podem concorrer para explicar a elevada proporção de áreas de matos ardidas, a sua localização mais remota relativamente aos núcleos populacionais onde o controlo social tem condições mais limitadas de realização, tanto mais quanto se associa a baixa densidade da população rural.

Em ambientes florestais as áreas queimadas corresponderam a cerca de 20% do total ardido nos últimos

15 anos, sendo que os ambientes agrícolas são os menos afetados, correspondendo aproximadamente a 10% da área total ardida de 2001 a 2015.

#### B. Recursos pedológicos e Aptidão da terra

Nas áreas queimadas ocorrem em 90% Leptosolos e em 9% Cambissolos. Os Leptosolos possuem características incipientes, sendo delgados e de elevada pedregosidade [3];[5] e com ocupação preferencial por matos e matas [10]. O material originário destes solos tem como litologias dominantes os xistos e os granitos, com 49% e 33% da área, respetivamente.

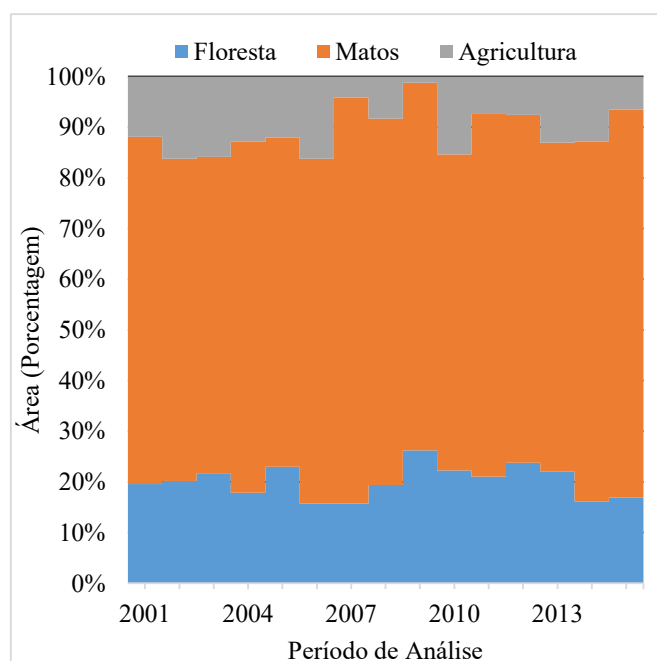


Fig. 2 – Distribuição das classes de uso da terra anteriores a ocorrência de incêndios nas áreas ardidas de 2001 a 2015 no Distrito de Bragança.

A espessura do solo é de grande importância para o desenvolvimento das plantas, já que as condições de enraizamento são determinadas pela espessura útil do solo e pela facilidade de penetração radicular [5]. Nas áreas queimadas no NE de Portugal 87% das áreas atingidas foram em solo com espessura entre 10 a 50 cm, considerados solos pouco desenvolvidos e de textura grosseira. As áreas queimadas apresentam carência de água no solo severa e muito severa em 90% dos casos, querendo dizer que há baixa capacidade de disponibilizar água para as plantas nestes locais. Estas zonas situam-se em declives superiores a 12 – 15% em 75% dos casos e a presença de solos pedregosos é frequente (41% da área).

Não impressiona portanto que a aptidão da terra para os usos agrícola, por pastagem e florestal seja na sua maioria nula (Fig. 3), já que as características acima descritas são severamente limitantes das práticas de uso convencionais nestes ambientes. Todavia, faz-se notar que nas áreas atingidas se encontram solos com aptidão elevada para o uso florestal em cerca de 14% da área.

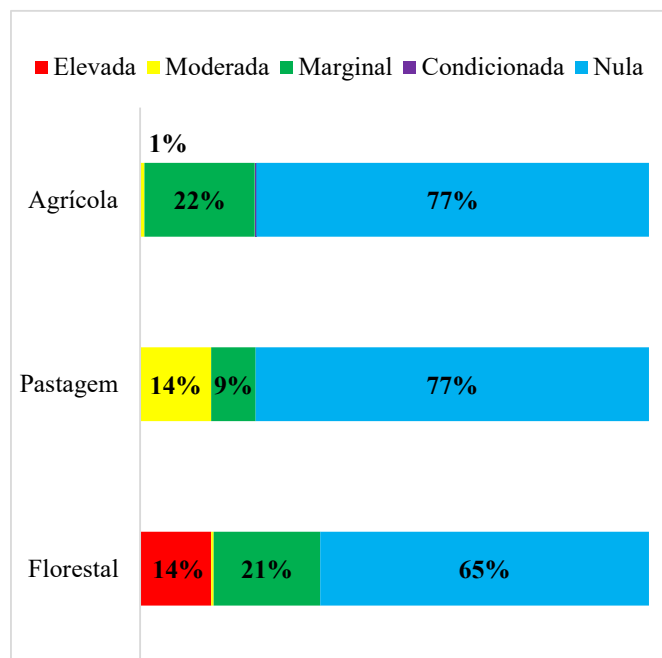


Fig. 3 – Distribuição das classes de aptidão da terra para usos agrícola, pastagem e florestal, na área ardida de 1990 a 2015 no Distrito de Bragança.

### C. Perda de solo nas áreas ardidas

Apresenta-se na Fig.4 a carta de perda de solo por erosão hídrica do JRC para o Distrito de Bragança. Percebe-se que a maior área representada na carta corresponde à classe de 2 - 5 ton.ha<sup>-1</sup>.

A erosão hídrica está fortemente relacionada com o fator topográfico na Região [3] [6], e por isso este fator foi também analisado no trabalho. A Tabela II mostra que os declives da classe mais representada nas áreas ardidas são superiores aos declives da classe mais representada no conjunto do Distrito, acentuando o carácter acidentado dessas áreas e o seu maior risco potencial de erosão.

TABELA II. DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE DECLIVE (%ÁREA) NO DISTRITO DE BRAGANÇA E NAS ÁREAS ARDIDAS (1990 – 2015).

Declive (%)	Distrito de Bragança	Áreas Ardidas
Classes	% de Área	
0-12	38,1	21,5
12-25	33,4	34,5
25-35	13,2	19,7
35-45	7,2	12,2
45-60	4,4	7,7
>60	1,5	2,1
no data	2,3	2,4

A perda de solo não está unicamente relacionada com a topografia mas, como explicado na equação da RUSLE2015 (1), também depende dos fatores erosividade da chuva, erodibilidade do solo, cobertura vegetal e práticas conservacionistas que são realizadas no local.

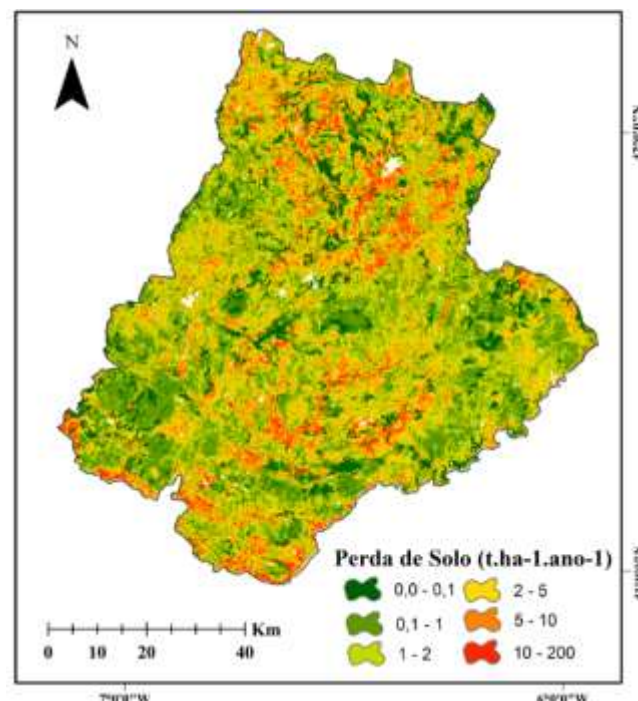


Fig. 4. Carta de perda de solo por erosão hídrica do Distrito de Bragança. Fonte: Adaptado de European Soil Data Centre (ESDAC), European Commission, Joint Research Centre (JRC), 2015.

Existe ainda a possibilidade de condições externas adicionais interferirem nos fatores da RUSLE e aumentarem ou amenizarem a erosão desses solos. Um exemplo desse fato são os incêndios, na sequência dos quais a probabilidade de que ocorra erosão é alta, visto que a terra fica exposta às precipitações [11].

Nesse contexto, sustentando as afirmações acerca dos valores globais de perda de solo em todo o Distrito de Bragança e identificando as áreas ardidas no mesmo (Fig. 1). Na Tabela III são comparadas as estatísticas da perda de solo estimada pela RUSLE2015 (carta JRC) para o Distrito de Bragança, para as áreas ardidas totais de 1990 a 2015 e para os 5 anos de maior área ardida neste período.

Com os resultados da Tabela III pode-se verificar que as medidas de localização dos três grupos não possuem grande diferença em seus valores. A mediana dos três grupos encontra-se na classe de valores abaixo de 2 ton.ha<sup>-1</sup>, abaixo da tolerância de perda de solo para solos de substrato não renovável, o que significa que a maior parte do território (total ou ardido) não apresenta risco severo de erosão.

Contudo, a média para o Distrito de Bragança e total de área ardida encontra-se acima do valor de tolerância. Isto porque no seu cálculo se consideram os valores extremos superiores (200 ton.ha<sup>-1</sup>) presentes nos 3 conjuntos de dados representados na Tabela. Assim, apesar de estarem mais frequentemente abaixo de 2 ton.ha<sup>-1</sup>, os três grupos apresentam zonas com perdas de solo muito críticas, mais evidentes nos dois primeiros. Todavia, o grupo 5MA, apesar de tanto média como mediana estarem abaixo do valor tolerável de perda de solo, cobre uma área de 902km<sup>2</sup>, equivalente aproximadamente a 13,7% do Distrito de Bragança. A proximidade da média (1,89) do limiar de



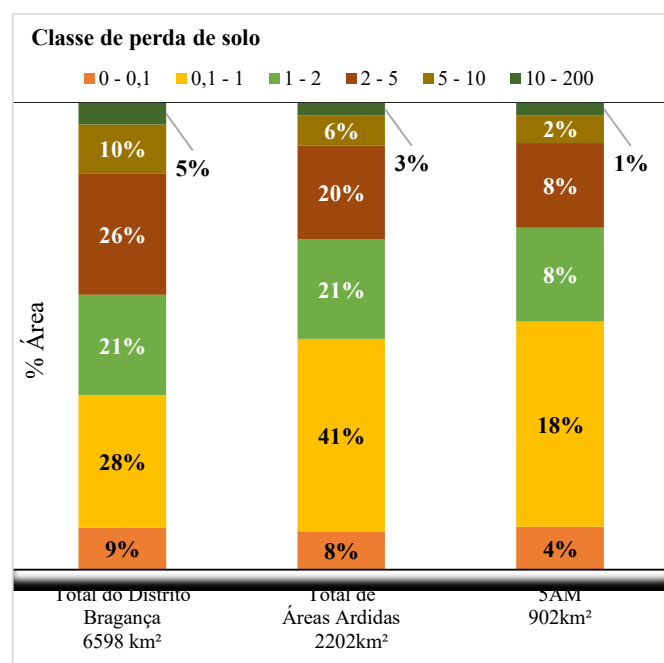
tolerância indica, ainda para este grupo uma extensão significativa de áreas em risco severo.

TABELA III. MÉDIA, EXTREMOS (X0 E X100) E QUARTIS (X25, X50 E X75) DA PERDA DE SOLO ANUAL POR EROÇÃO HÍDRICA NO DISTRITO DE BRAGANÇA

Parâmetro	Total do Distrito de Bragança	Total de Áreas Ardidas 1990 - 2015	5MA
		ton ha <sup>-1</sup>	
Média	2,75	2,62	1,89
X0	0,0001	0,0008	0,0004
X25	0,58	0,61	0,33
X50	1,52	1,46	0,90
X75	3,36	3,05	2,14
X100	200	200	200

\*5MA= 5 anos de maior área ardida de 1990 a 2015.

Na Fig. 6, mostra-se as percentagens de área correspondente a cada classe da Tabela I, considerando o próprio Distrito de Bragança, a área total ardida de 1990 a 2015 e os 5 anos de maior área ardida neste período. Analisando a Fig. 6 percebe-se que a classe 2 (0,1-1 ton.ha<sup>-1</sup>) apresenta maior percentagem nos 3 grupos analisados. As classes de perda de solo que apresentam valores acima do tolerável, classes 4, 5 e 6, quantificam em todo Distrito de Bragança cerca de 41% do total. Nas áreas ardidas total e nos 5AM essas representam todavia 29% e 11% respetivamente.



\*5MA= 5 anos de maiores áreas ardidas de 1990 a 2015.

Fig. 6- Distribuição das classes de perda de solo por erosão hídrica no Distrito de Bragança

Estes resultados não seguem o esperado em relação as áreas ardidas e as correspondentes condições de erosão. Independentemente da relação entre perda de solo e severidade do incêndio explorada por [12], o facto de os

incêndios conduzirem à redução da cobertura do solo indica como efeito imediato uma maior exposição das áreas ardidas ao impacto erosivo das precipitações. Deste modo, a imagem associada à ocorrência de erosão em áreas ardidas sugeria a expectativa de que as maiores percentagens da classe de perda de solo nessas áreas estivessem situadas entre 2 e 200 ton.ha<sup>-1</sup> (classe 4, 5 e 6).

Nesta apreciação devem-se considerar fatores que podem causar a subestimação dos valores de perda de solo. A carta do JRC utilizada foi construída com dados espaciais referentes ao ano de 2010 não podendo portanto estar aí consideradas as áreas ardidas posteriores. Por outro lado, o fator C estipulado na carta JRC utilizou duas categorias de classificação do uso da terra: não-aráveis e aráveis. As terras não aráveis baseiam-se na carta CORINE de cobertura do solo, que classifica o mesmo a partir da densidade de vegetação, independentemente do tipo de coberto vegetal presente em cada pixel. Esta carta levou somente em consideração o raster do ano de 2006 para classificação, contendo resolução de 100 metros [13]. Para as terras aráveis fizeram uso dos dados estatísticos reunidos pela Comissão Europeia (EUROSTAT) em bases de dados, com os tipos de agricultura em cada região entre os anos de 2008 a 2012. Essas abordagens não consideraram as áreas ardidas. Desse modo a avaliação da erosão parece subestimada frente ao potencial apresentado pela extensão das áreas ardidas no Distrito de Bragança.

Por outro lado, é escassa a informação experimental disponível sobre erosão em áreas ardidas neste território. Perdas de solo avaliadas em micro-parcelas com 4 m<sup>2</sup> de área em declive médio de 8 %, instaladas em área ardida, mostram valores de 1,5 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, medidos em ano seco [15]. Estimativas para ano de precipitação normal baseadas nesta avaliação apontam para valores de 2,3 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, a significar que, nessas áreas, os solos estão expostos a perdas acima do tolerável, pelo menos no primeiro ano após o fogo, como foi o caso do estudo referenciado. Todavia, dada a natureza dos processos erosivos, a comparação de resultados em diferentes escalas espaciais não pode ser direta, pelo que, destes resultados não pode, de per si, aferir-se a fiabilidade das estimativas apresentadas na carta do JRC, a qual, no contexto aqui utilizado, serve para ordenar magnitude e expressão espacial de classes de suscetibilidade.

Nesse sentido, a abordagem à suscetibilidade à erosão das áreas ardidas tomando como referência a carta da JRC encerra dificuldades que se projeta ultrapassar ao considerar o efeito sucessivo dos vários fatores da RUSLE2015., designadamente o fator C, sobre o qual os incêndios impõem alteração mais expressiva.

#### IV. CONCLUSÕES

Este estudo, focado na problemática dos incêndios na região NE de Portugal, sublinha a importância das áreas ardidas, as quais atingiram 24% do território num período de 26 anos (de 1990 a 2015). O estudo mostra também que os incêndios no período de 2001 a 2015 afetaram sobretudo áreas de matos, as quais representaram 70% da área ardida no período analisado, enquanto as áreas florestais e agrícolas atingidas representaram apenas 20% e 10% dessa área, respetivamente. A muito expressiva importância dos matos

enquanto áreas afetadas por incêndios sugere causas relacionáveis com a continuidade espacial do combustível acumulado em extensões tendencialmente maiores, face à rarefação da população rural e ao abandono da terra e, por outro lado, sugere ainda que à baixa densidade populacional estará associado menor controlo social sobre essas áreas, por isso menos vigiadas e acompanhadas.

Os resultados mostraram valores médios de taxa de erosão estimada abaixo do tolerável ( $2 \text{ ton.ha}^{-1}$ ), seja a nível do Distrito de Bragança, seja nas Áreas ardidas totais em 26 anos, seja ainda no conjunto dos 5 anos de maior área ardida neste período. Apesar disso, encontram-se valores de perda de solo muito críticos em algumas zonas do território, com as classes de erosão acima do tolerável a representar no Distrito de Bragança cerca de 41% da área total.

A distribuição das classes de perda de solo nas áreas ardidas apresenta menor proporção de taxas acima do tolerável do que a calculada para o total do Distrito de Bragança, o que constitui resultado menos esperado face às condições potenciais de erosão severa que prevalecem nas áreas de matos e florestas no Distrito, usos da terra antecedentes dos incêndios que correspondem a cerca de 90 % da área ardida no período estudado. O Fator C da RUSLE2015 utilizado na produção da Carta de perda de solo por erosão hídrica da Europa (JRC) poderá explicar estes resultados. Trabalhos futuros nesta linha deverão permitir validar esta hipótese.

## REFERÊNCIAS

- [1] Diyabalanage, S., Samarakoon, K. K., Adikari, S. B., & Hewawasam, T. (2017). Impact of soil and water conservation measures on soil erosion rate and sediment yields in a tropical watershed in the Central Highlands of Sri Lanka. *Applied Geography*, pp. 103–114.
- [2] Boardman, J., & Poesen, J. (2006). *Soil Erosion in Europe Editors*. (L. John Wiley & Sons, Ed.), John Wiley and Sons. England.
- [3] Figueiredo, T. de (2013). *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano*. Instituto Politécnico de Bragança Eds. p. 47.
- [4] Neary, D. G.; Ryan, K. C.; DeBano, L. F., eds. (2005). *Wildland Fire in Ecosystems, effects of fire on soil and water*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.4. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p 250.
- [5] Agroconsultores e Ciba. (1991). Carta dos solos, Carta do Uso Actual da Terra e Carta de Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. (UTAD/PDRITM, Ed.). Vila Real.
- [6] Figueiredo, Tomás de (2001). Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: Contributo para a interpretação de registos em vinhais ao alto na Região do Douro. Tese de Doutoramento, UTAD, Vila Real.
- [7] Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusbrger, K., Montanarella, L., Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. Vol 54, p. 438–447.
- [8] Morgan, R.P.C. (2005). Soil erosion and conservation. 3<sup>ed</sup>. Rev. National Soil Resources Institute, Cranfield University.
- [9] Arnoulds, H.M.J. An approach to the assessment of erosion forms and erosion risk on agricultural land in the northern Paris Basin, France. In: Boardman J, Foster DL, Dearing JA (eds). Soil erosion on agricultural land. Wiley, Chichester, p. 383–400.
- [10] Cunha, L. (2003). A montanha do centro português : espaço de refúgio , território marginal e recurso para o desenvolvimento local. *Territórios, Ambiente E Trajectórias de Desenvolvimento*, Ed. Caetano, Lucília (Coord.), (175–191), 175–191.
- [11] Monteiro, A.; Ferreira, C.; Madureira, H.; Quenol, H.; Maciel, Â.; Pinto, A.; Ramasas, I. & Guerner, J. (2005). ATLAS AGROCLIMATOLÓGICO DO ENTRE DOURO E MINHO, Projecto POCTI/GEO/14260/1998.
- [12] Ferreira, A. D., Silva, J. S., Maia, M. J., Catry, F., Moreira, F. (2005). Gestão pós-fogo: Extracção da madeira queimada e protecção da floresta contra a erosão do solo. DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais. 1<sup>a</sup> edição. Lisboa – Portugal.
- [13] González-Pelayo O., Andreu V., Campo J., Gimeno-García E., Rubio J.L., (2006). Hydrological properties of a Mediterranean soil burned with different fire intensities. *Catena* 68, 186–193.
- [14] Panagos, P., Borrelli, P., Meusbrger, K., Alewell, C., Lugato, E., Montanarella, L. (2015b). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*. Vol 48, p. 38–50.
- [15] Fonseca, F., Figueiredo, T. de, Nogueira, C., Queirós, A. (2017). Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain area. *Geoderma* (accepte).



# Recuperación de nutrientes para producción de fertilizantes mediante sistemas bioelectroquímicos

M.I. San Martín, R. Barrio, A. Escapa, A. Morán

Chemical and Environmental Bioprocess Engineering Group, Natural Resources Institute (IRENA)

Universidad de León

Léon, Spain

msanb@unileon.es

**Abstract**—El desarrollo de celdas microbianas para la recuperación de nutrientes es un paso crucial para la implementación de esta tecnología en el tratamiento de residuos orgánicos líquidos. En el presente trabajo se describen los resultados preliminares obtenidos durante la caracterización de un electrolizador biocatalítico de 16 L, diseñado para el tratamiento de purines y recuperación de nitrógeno. El reactor fue alimentado con residuos de una granja de ganado porcino diluidos a diferentes concentraciones. Los resultados muestran que tras un periodo de aclimatación de 15-20 días es posible obtener recuperaciones máximas del 57 % del nitrógeno total presente en el residuo inicial.

**Keywords**—celda microbiaba, recuperación de nutrientes, residuos orgánicos ganaderos.

## I. INTRODUCTION

La producción ganadera mundial está aumentando, de forma que se espera que en 2050 alcance casi el doble de la actual [1]. Obviamente, este aumento conducirá a un acrecentamiento de la producción de estiércol, lo cual plantea la necesidad de desarrollar sistemas de gestión para mitigar su impacto en el medio ambiente y limitar el coste económico que implica su recogida, almacenamiento y transporte. Una alternativa consiste en la recuperación de los nutrientes presentes en el residuo de modo que por un lado se reduce la probabilidad de ocurrencia de contaminación de aguas y suelos por nitratos y por otro lado se mejora la viabilidad económica del proceso de gestión mediante la obtención de un producto de valor añadido (fertilizante) [2].

Los sistemas bioelectroquímicos (BES), son una tecnología emergente con un gran potencial y una amplia gama de aplicaciones [3]. Estos sistemas están formados, generalmente, por un ánodo y un cátodo situados en diferentes cámaras que se separan por una membrana de intercambio iónico. Un tipo de BES son los electrolizadores biocatalíticos (MEC, de sus siglas en inglés). En el ánodo de una MEC tiene lugar la oxidación de la materia orgánica que genera como productos dióxido de carbono, electrones y protones y en el cátodo se genera una reacción de reducción que produce hidrógeno [4]. Una de las posibles aplicaciones de estos sistemas es la recuperación de nutrientes, como el nitrógeno [5]. Esta recuperación se produce cuando el amonio contenido en el anolito pasa a través de la membrana de intercambio iónico hacia el cátodo por procesos de difusión y migración [6].

En este estudio se emplean dos reactores MEC de 16 L de volumen por reactor, con el objetivo de recuperar el nitrógeno contenido en los purines para su posterior empleo en la producción de fertilizantes. Para ello se emplea un tampón de fosfato como catolito y fuera del reactor el amonio recuperado es precipitado junto con el ion fosfato en forma de estruvita, que puede ser aplicada directamente en suelos agrícolas.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### A. Reactor MEC

Los ensayos se llevaron a cabo en dos reactores bioelectrolíticos con arquitectura gemela. Su estructura consiste en 4 placas de metacrilato acopladas de forma paralela con una junta de goma entre cada placa. Las dos placas laterales actúan a modo de paredes del reactor, mientras que las placas centrales, de mayor grosor, se han vaciado sirviendo así de cámara anódica o catódica. El volumen nominal de cada cámara es de 8 litros. Una membrana de intercambio catiónico, CMI-7000 (Membranes International Inc., USA), separa ambas cámaras (Ver Fig. 1). El ánodo consiste en un electrodo de fieltro de grafito de 5 mm de espesor (Sigratherm®, Alemania) y el cátodo está formado por una placa de acero inoxidable. Los electrodos se conectaron al circuito eléctrico externo a través de colectores de corriente de acero inoxidable.

### B. Inoculación y condiciones de operación

Ambos reactores fueron inoculados con una mezcla de purín, lodo digerido de depuradora y suplementado con 550 mg/L de acetato de sodio. El arranque del reactor duró 16 días. El llenado y recirculación del medio de las cámaras anódicas y catódicas se realizó mediante bombas peristálticas.

Los reactores fueron operados en ciclos de duración comprendida entre 2 y 3 días, con una tensión aplicada de 1 V entre ánodo y cátodo. La corriente eléctrica fue registrada cada 10 minutos a través de un sistema de adquisición de datos que empleaba una resistencia fija. Todos los ensayos fueron realizados a temperatura ambiente,  $20.3 \pm 2.5^\circ\text{C}$ . El anolito consiste en purín de cerdo diluido a distintas proporciones (entre 40 y 80 %) en agua destilada, con un pH de  $7.7 \pm 0.4$ . El catolito consiste en un tampón de fosfatos (0.1 M) cuyo valor de pH de entrada fue fijado en 6. La elección de este catolito es debida a la necesidad de mantener un pH por debajo de 8, ya que a pH superiores se produce una conversión de amonio a amoníaco gas, lo que conllevaría una pérdida del nitrógeno.

Además, a estos pHs no se producen precipitados dentro del reactor, que pueden provocar una disminución su rendimiento.

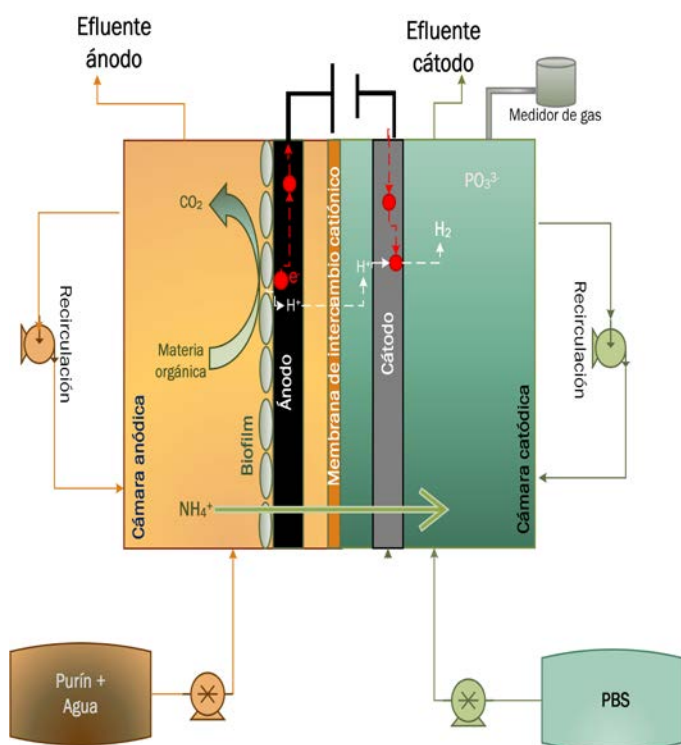


Figura 1. Esquema de funcionamiento del electrolizador biocatalítico

### C. Métodos analíticos

La toma de muestras se realizó al inicio y finalización de cada ciclo. En ellas, carbono orgánico total (TOC) y nitrógeno total (TN) fueron medidos mediante un analizador TOC multi N/C 3100 (Analytikjena, Germany). Conductividad y pH fueron medidos mediante un pHmetro GLP 21 (Crison Instrument, Spain) y un conductímetro TetraCon 325 (WTW, Germany), respectivamente. La producción de gas se medio usando un contador de gas MGC-1 PMMA (Ritter, Germany) y la composición del gas fue analizada con un cromatógrafo CP 3800 GC (Varian, USA).

## III. RESULTADO Y DISCUSIÓN

### A. Recuperación de nitrógeno

En un sistema bioelectroquímico existen varios factores que pueden provocar un episodio de estrés en los microorganismos. Uno de estos factores es una alta concentración de amonio. En literatura no se encuentra un valor umbral fijo a partir del cual se produzca la inhibición de bacterias electrógenas, sin embargo existen estudios acerca del efecto de la concentración de amonio en la biopelícula del ánodo [7][8]. Además, se ha demostrado que los procesos de aclimatación pueden influir en la variación de la concentración de inhibición [9]. Por ello, en este estudio la concentración de nitrógeno se incrementa de forma gradual desde 500 mg- TN/L hasta alcanzar los 5000

mg-TN/L, a medida que aumenta la proporción de purín en la alimentación.

Como se observa en la Fig. 2, el porcentaje de recuperación de nitrógeno es máximo cuando el porcentaje de purín en la alimentación es del 60%. Sin embargo, el mayor flujo de amonio se observa cuando la concentración de purín es máxima en el anolito, ya que la concentración de amonio tiende a igualarse a ambos lados de la membrana mediante fenómenos de difusión. Los porcentajes obtenidos de amonio que atraviesa la membrana desde el ánodo al cátodo son similares a los obtenidos en otros estudios [10].

Uno de los objetivos de este estudio es la recuperación de amonio para su posible utilización como fertilizante en forma de fosfato hexahidratado de amonio y magnesio, también llamado estruvita. Por lo tanto, una vez fijada la concentración del tampón fosfato en 0.1 M, lo ideal sería alcanzar esta misma concentración de amonio en el catolito ya que para la precipitación se necesita una relación molar de  $\text{NH}_4^+:\text{PO}_3^{3-}$  de 1:1. Como se ve en la Fig. 3, la relación  $\text{NH}_4^+:\text{PO}_3^{3-}$  alcanza un valor máximo de 0.7:1. El planteamiento de reducir la concentración de fosfato en el buffer para alcanzar de esta forma una relación igual a la unidad es descartada debido a que una disminución de la concentración disminuiría la capacidad tampón y por tanto el pH final del catolito en un ciclo aumentaría por encima de los valores deseados. Por tanto, el planteamiento futuro deberá ser aumentar la concentración de amonio mediante bypass o similar.

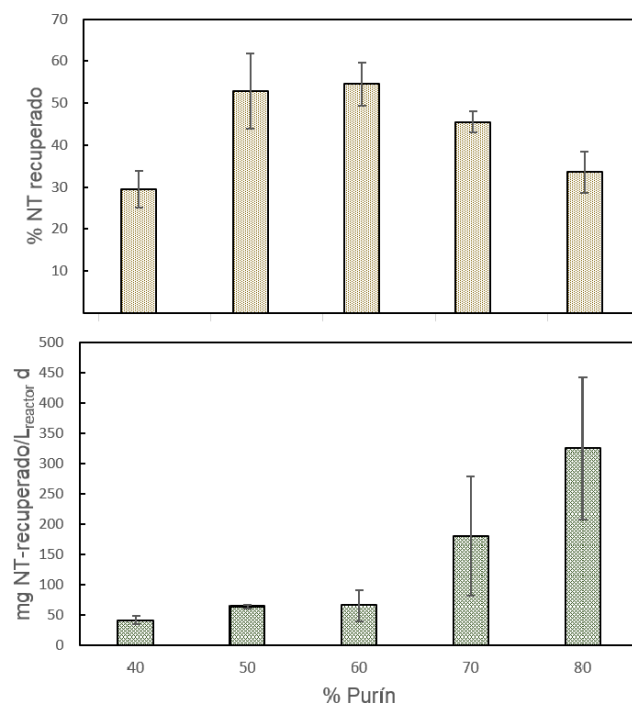


Figura 2. Tasa de recuperación de amonio (A) y flujo de amonio a través de la membrana (B) para diferentes proporciones de purín en la alimentación.

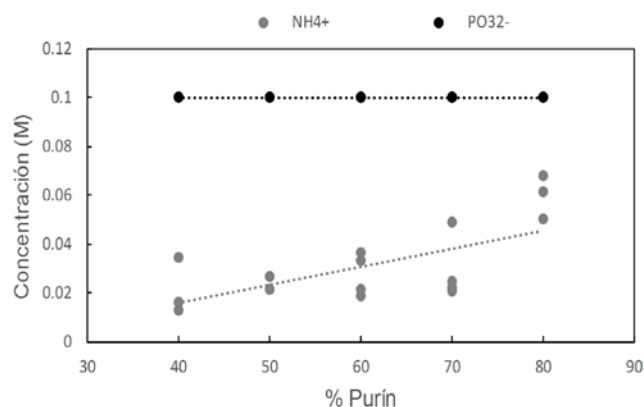


Figura 3. Concentración (mol/L) de los iones amonio y fosfato en el catolito en función de la proporción de purín en el anolito.

### B. Eliminación de TOC

La composición del purín puede ser muy heterogénea [11] incluso en muestras tomadas en la misma granja en espacios breves de tiempo. Los ensayos con menores proporciones de purín (40-60%) fueron realizados con una primera toma, en la balsa de estabilización, que contenía  $1700 \pm 200$  mg-TOC/L, sin embargo, los ensayos con mayores proporciones (60-80%) fueron realizadas con una segunda toma de purín, que fue recogida en la misma granja, pero en la pocilga, y cuya concentración de materia orgánica distaba significativamente de la primera, con concentraciones de  $6000 \pm 400$  mg-TOC/L.

En la Fig.4 podemos observar el aumento de concentración de TOC al aumentar la proporción de purín en los distintos ensayos realizados. La línea oscura nos muestra la concentración de TOC a la entrada y la línea clara a la salida. En ambas se observa un gran aumento a partir del ensayo 25, donde se empezó a utilizar el purín más concentrado.

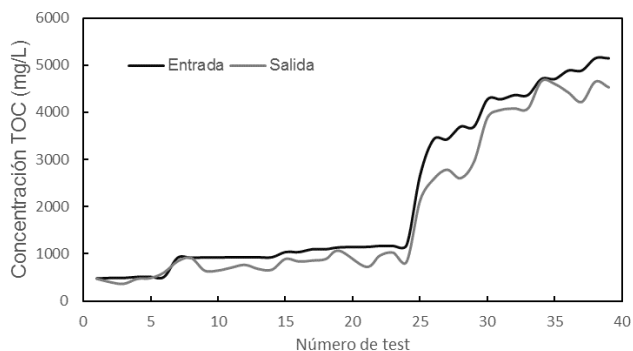


Figura 4. Concentración (mg-TOC/L) en el influente y el anolito efluente del ánodo en distintos test con un aumento de la proporción de purín en la entrada.

En la Fig. 5 se muestran los resultados de eliminación de materia orgánica por litro de reactor y día. Esta tasa de eliminación es similar a distintas proporciones de purín en la alimentación, sin embargo, destaca el valor de  $200 \text{ mg/L}_{\text{reactor d}}$  cuando el porcentaje del purín es del 80%.

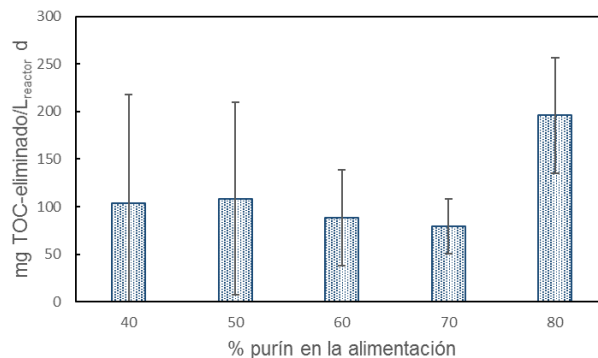


Figura 5. Tasa de eliminación de la materia orgánica en anolito en función del porcentaje de purín en la alimentación

La segunda toma de purín contenía materia orgánica más fácilmente degradable ya que estaba menos estabilizado, lo que provoca que la tasa de eliminación sea mayor. Por lo tanto, ese aumento debería producirse para todos los test realizados con más del 60% de purín, a pesar de esto, puede existir un periodo de aclimatación de los microorganismos a las altas concentraciones de materia orgánica, que impide que este aumento se vea a partir de menores concentraciones.

### C. Densidad de corriente

Se aplicó una diferencia de potencial de 1 V entre ánodo y cátodo mediante una fuente de alimentación EA-PS 2042-06B (Elektro-Automatik, Germany). La corriente fue medida y registrada cada 10 minutos, a través de una resistencia de  $0.5 \Omega$ , mediante un multímetro con sistema de adquisición de datos 2701 Ethernet (Keithley, USA).

La densidad de corriente (en  $\text{A/m}^2$ ) es medida como el cociente entre la intensidad de corriente y el área del electrodo ( $0.176 \text{ m}^2$ ). La corriente producida por la MEC durante distintos ciclos alimentados en proporciones crecientes de purín se muestra en la Fig. 6. Se observa un aumento de la densidad de corriente al incrementar la proporción de purín en la alimentación. Estos valores de densidad de corriente son afines a los obtenidos por M. Cerrillo [12] en un reactor de 1 L de volumen total cuando empleaba purín digerido como alimentación. La densidad de corriente es uno de los parámetros más influyentes en la viabilidad de los sistemas MEC [13], por tanto, el aumento de esta densidad al aumentar la concentración produce una mejora en el funcionamiento del sistema.

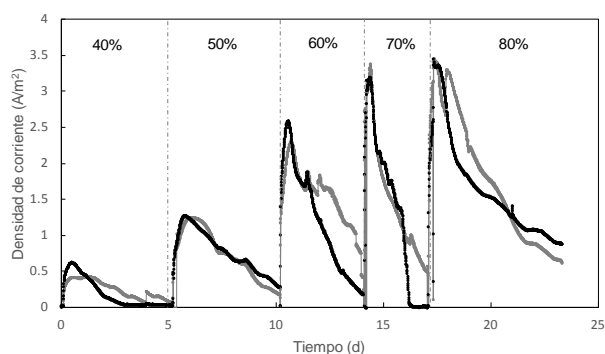


Figura 6. Densidad de corriente (A/m<sup>2</sup>) en las distintas etapas del proceso según el porcentaje de purín en la alimentación (40, 50, 60, 70 u 80 %).

#### IV. CONCLUSIONES

Los análisis realizados indican un máximo del 57% en la recuperación de nitrógeno cuando el porcentaje del purín es del 60%. Sin embargo, este máximo en el porcentaje recuperado no coincide con la tasa máxima de recuperación que es de 325 mg-NT/L<sub>reactor</sub>d que se produce cuando el porcentaje de purín en la alimentación es del 80%. Es además a esta concentración cuando la relación entre el fósforo y el amonio se acercan más a la unidad, lo que favorece la precipitación de la estruvita.

Por otro lado, se observa que tras un periodo de adaptación de 15-20 días, el biofilm del ánodo puede operar de forma estable a altas concentraciones de nitrógeno y materia orgánica generándose incluso una mejora en el funcionamiento del proceso.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado dentro del proyecto “Nutrient recovery from biobased Waste for Fertilizer production” – NEWFERT-, subvencionado por BioBased Industries Joint Undertaking en el programa de investigación e innovación HORIZON 2020 de la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención N°: 668128-Newfert”.

También se agradece a la explotación de porcino de Morales del Vino “Los Majacanes” por las aportaciones de residuos orgánicos ganaderos y a G. Pelaz por su ayuda en el desarrollo del estudio.

#### REFERENCIAS

- [1] M. ten Hoeve, B. Gómez-Muñoz, L.S. Jensen, S. Bruun, Environmental impacts of combining pig slurry acidification and separation under different regulatory regimes--A life cycle assessment, *J. Environ. Manage.* 181 (2016) 710–720.
- [2] W.-W. Li, H.-Q. Yu, B.E. Rittmann, Chemistry: Reuse water pollutants, *Nature*. 528 (2015) 29–31.
- [3] A. Escapa, M.I. San-Martín, R. Mateos, A. Morán, Scaling-up of membraneless microbial electrolysis cells (MECs) for domestic wastewater treatment: Bottlenecks and limitations, *Bioresour. Technol.* 180 (2015) 72–78. doi:10.1016/j.biortech.2014.12.096.
- [4] A. Escapa, A. Lobato, D.M. García, A. Morán, Hydrogen production and COD elimination rate in a continuous microbial electrolysis cell: The influence of hydraulic retention time and applied voltage, *Environ. Prog. Sustain. Energy*. 32 (2013) 263–268. doi:10.1002/ep.11619.
- [5] P.T. Kelly, Z. He, Nutrients removal and recovery in bioelectrochemical systems: A review, *Bioresour. Technol.* 153 (2014) 351–360. doi:10.1016/j.biortech.2013.12.046.
- [6] Y. Liu, M. Qin, S. Luo, Z. He, R. Qiao, Understanding ammonium transport in bioelectrochemical systems towards its recovery, *Sci. Rep.* 6 (2016).
- [7] M. Mahmoud, P. Parameswaran, C.I. Torres, B.E. Rittmann, Electrochemical techniques reveal that total ammonium stress increases electron flow to anode respiration in mixed-species bacterial anode biofilms, *Biotechnol. Bioeng.* (2017).
- [8] J.-Y. Nam, H.-W. Kim, H.-S. Shin, Ammonia inhibition of electricity generation in single-chambered microbial fuel cells, *J. Power Sources*. 195 (2010) 6428–6433. doi:10.1016/j.jpowsour.2010.03.091.
- [9] S. Xie, P.G. Lawlor, J.P. Frost, Z. Hu, X. Zhan, Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage, *Bioresour. Technol.* 102 (2011) 5728–5733. doi:10.1016/j.biortech.2011.03.009.
- [10] A. Sotres, M. Cerrillo, M. Viñas, A. Bonmatí, Nitrogen recovery from pig slurry in a two-chambered bioelectrochemical system, *Bioresour. Technol.* 194 (2015) 373–382. doi:10.1016/j.biortech.2015.07.036.
- [11] S.G. Sommer, M.L. Christensen, T. Schmidt, L.S. Jensen, Animal manure recycling: treatment and management, John Wiley & Sons, 2013.
- [12] M. Cerrillo, M. Viñas, A. Bonmatí, Unravelling the active microbial community in a thermophilic anaerobic digester-microbial electrolysis cell coupled system under different conditions, *Water Res.* 110 (2017) 192–201. doi:10.1016/j.watres.2016.12.019.
- [13] A. Escapa, X. Gómez, B. Tartakovsky, A. Morán, Estimating microbial electrolysis cell (MEC) investment costs in wastewater treatment plants: Case study, *Int. J. Hydrogen Energy*. 37 (2012) 18641–18653. doi:10.1016/j.ijhydene.2012.09.157.

# Identificação Das Deficiências Econômicas E Culturais Do Atual Mercado Musical No Brasil E Apresentação Do Software E Do Modelo Canvas Da Tecnologia Disrupt Orchestra.

Andrei Ferraz Cesmegi

Tecnólogo em Gestão Financeira  
FATEC - Osasco  
Osasco, Brasil  
andreifc11@gmail.com

Fernando de Almeida Santos

Doutor em Ciências Sociais  
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo/FATEC-Osasco  
São Paulo, Brasil  
almeidasantos@pucsp.br

*Resumo - Este trabalho tem por objetivo a identificação das deficiências econômicas e culturais do atual mercado musical no Brasil. Foi estudada neste projeto a real necessidade de todas as partes envolvidas na indústria musical por meio de estudo em materiais acadêmicos registrados nas referências deste trabalho, além da utilização e estudo dos dispositivos existentes no mercado, obtendo assim uma opinião ainda mais realista e atual. O método de pesquisa utilizado foi o dedutivo, com técnica de pesquisa teórica e qualitativa, com emprego de material bibliográfico e documental legal. Neste caso, as informações contidas nesta pesquisa, contribuirão para a indústria musical como um todo, trazendo uma visualização factual aos especialistas e um esclarecimento aos amadores e entusiastas. Além de permitir que órgãos governamentais possam analisar tais dados, promovendo, assim, um melhor planejamento cultural e criação de leis de fomento e fiscalização mais amplos e atualizados.*

*Palavras-Chave: Indústria Musical. Mercado Musical. Canvas. Software. Startup.*

*Abstract - This work aims to identify the economic and cultural deficiencies of the current music market in Brazil. It was studied in this project the real need for all parties involved in the music industry through investigation in academic materials registered in the references of this work, in addition to inquiries and studies of existing market devices, thus obtaining an opinion even more realistic and current. The research method used was deductive, in theoretical and qualitative research with the use of bibliographic materials and legal documents. In this case, the information contained in this research will contribute to the music industry as a whole, bringing a factual view to experts and a clarification to amateurs and enthusiasts. In addition, allowing government agencies to analyze such data, thereby promoting better cultural planning and creation of development laws and broader and updated inspections.*

*Keywords—Music Industry. Music Business. Canvas. Software. Startup.*

## I. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa identificou as principais necessidades de músicos independentes, compositores e intérpretes, ao lançar e promover suas carreiras e produtos (canções, marcas, fonogramas etc.), após analisar o mercado musical atual, cultural e economicamente. Conjuntamente a este trabalho apresenta-se o modelo de negócios Canvas aplicado à tecnologia DISRUPT ORCHESTRA, um software proposto pelo pesquisador para ser responsável por servir as necessidades estudadas.

O objetivo da pesquisa consiste em identificar quais as necessidades das seguintes partes envolvidas na indústria musical: músicos independentes, compositores e intérpretes que buscam novas oportunidades comerciais. Portanto, a pesquisa identifica as necessidades e exigências de cada, para incentivar a inserção comercial de novos talentos, logo, auxiliar na captação financeira.

Tal plataforma será um aplicativo *mobile*<sup>1</sup> que funcionará conjuntamente com um *website*. Dentro do escopo, a plataforma DISRUPT ORCHESTRA terá apresentado somente a função de registro de músicas.

Muitos músicos, compositores e intérpretes têm dificuldade em registrar e profissionalizar seu produto. As informações legais deste ramo estão dissipadas em livros e páginas na internet, com muitos dados desatualizados, incompletos e confusos. Sem contar com a quantidade de provedores de serviços, associações, sindicatos e charlatões, todos com marketing atraente e custos altos.

Há, também, dificuldade em formar uma audiência constante, conhecida nos termos da indústria como público fiel ou fãs, que consumam seus produtos. O custo de marketing e publicidade encarece o projeto, restando muitas vezes, aos pequenos empreendedores, apenas as redes sociais e alternativas gratuitas, ou, que exigem pouco investimento.

<sup>1</sup> Do inglês, móvel, termo referente à tecnologia de aplicativos para aparelhos móveis, tais como *smartphones*, *notebooks*, *tablets* etc.

Segundo (Fundação Carlos Alberto Vanzolini, 2012), “na Europa, segundo o sítio da *Independent Music Companies Association* (IMPALA)<sup>2</sup>, as vendas das independentes correspondem a 20% do mercado” [4].

No Brasil, estima-se que a fatia do Mercado Musical atribuído ao Mercado Independente, segundo relatório da (Associação Brasileira dos Produtores de Discos, 2014), contribui para 25%. Sendo 75% gerado pelas três maiores gravadoras que dominam o Mercado, as chamadas *Majors* (*Majoritárias*)<sup>3</sup>, Sony, Universal, Warner. Porém no mercado Brasileiro as gravadoras Majoritárias incluem Disney, as gravadoras MK, Music Brokers, Paulinas COMEP, Line Records, Som Livre etc [1].

Segundo (Fundação Carlos Alberto Vanzolini, 2012) estimam-se 5800 artistas *independentes* vinculados a gravadoras independentes, ou seja, operando fora das Majoritárias (*Majors*). Deste mercado estima-se R\$ 42 milhões de reais por ano [4].

É indispensável reconhecer que há mercados secundários diretamente afetados com o desenvolvimento da indústria musical. Observa-se, portanto, que a valorização do setor, implica na valorização dos setores secundários.

## II. DESAFIOS DA INDÚSTRIA ATUAL

Os desafios mais comuns da indústria musical atual são: pirataria e compartilhamento, desinformação dos artistas e utilização das tecnologias, conforme descritos a seguir:

### A. Pirataria e compartilhamento:

A redução no faturamento das gravadoras costuma ser explicada pela influência da pirataria nos meios físicos (pelo comércio ilegal de mídias falsificadas), mas principalmente nos meios virtuais (via trocas não autorizadas de arquivos de áudio). No final da década de 1990, a tecnologia de gravação de CDs tornou-se acessível a usuários domésticos, aliado ao surgimento do primeiro programa de compartilhamento de arquivos pela internet (o Napster<sup>4</sup>, em 1999), o que potencializou o consumo gratuito de música de forma irreversível [3]. (Ferreira, 2013)

B. Desinformação: Afirmam Rabelo Neto, Silva e Souza (2015) “...grande parte dos agentes da música não possui conhecimentos específicos e habilidades técnicas necessárias para empreender seu próprio negócio” [12].

Para a estruturação de uma carreira musical, é necessário possuir informações de diversos setores, tais como jurídico, na

abertura de empresa, permitindo que este artista participe de projetos desenvolvidos pelo governo, ou até mesmo, obtenha investimento de terceiros.

C. Tecnologias Relevantes para o mercado musical: Há varias tecnologias relevantes para o mercado musical e destacam-se: iTunes / iPods / iPads / iPhones; Streaming<sup>5</sup>; Youtube; Facebook; Tunecore and CDBaby<sup>6</sup>; ReverbNation<sup>7</sup> e Aplicativos.

Ao abordar as tecnologias deve-se considerar a mudança de perfil das empresas brasileiras da indústria musical. Embora as empresas brasileiras sejam responsáveis pelo mercado nacional, em um mundo globalizado, as mesmas são responsáveis pelos intercâmbios de negócios internacionais por meio de parcerias em projetos diversos.

## III. CAPTAÇÃO DE RECURSOS NO MERCADO MUSICAL

Neste tópico são identificadas as principais fontes de recursos para músicos, compositores, intérpretes, produtores e agentes do mercado musical. Dentre as possíveis formas de captação de recursos, ou seja, gerações de receita de um profissional da indústria musical estão: direitos autorais, venda de exemplares físicos e digitais, venda de apresentações, venda de produtos associados à música, uso da marca e imagem. Assim como sincronização e licenciamento. Para captar recursos são apresentadas as opções identificadas:

A. Direitos autorais: Na atual Lei de Direitos Autorais (Lei nº. 9610/98), a LDA<sup>8</sup>, vem assim prescrito (Brasil, 1998):

Art. 3º Os direitos autorais reputam-se, para os efeitos legais, bens móveis.

Art. 4º Interpretam-se restritivamente os negócios jurídicos sobre os direitos autorais [2].

Em relação ao objeto desta pesquisa, as obras musicais, esta Lei no Art. 5º considera: publicação, transmissão, retransmissão, distribuição, comunicação, reprodução e contrafação.

B. Licenciamento: Conforme previsto no capítulo 5º, da Lei dos Direitos Autorais - LDA 9610/98 em seu artigo 49, (Brasil, 1998):

Art. 49. Os direitos do autor poderão ser total ou parcialmente transferidos a terceiros, por ele ou por seus sucessores, a título universal ou singular, pessoalmente ou por meio de representantes com poderes especiais, por meio de licenciamento, concessão, cessão ou por

<sup>2</sup> *Independent Music Companies Association* (IMPALA) - Associação das Companhias Musicais Independentes da Europa.

<sup>3</sup> As gravadoras Majoritárias, do inglês, *Majors*, são as entidades que possuem maior mercado de vendas. Atualmente, as principais Majors são: Sony Music, Warner e Universal. Cada uma sendo dona de diversas gravadoras de menor porte, chamadas gravadoras Independentes. Sendo, ainda, estas menores donas de gravadoras ainda menores, denominadas selos musicais.

<sup>4</sup> Napster – Plataforma online de compartilhamento de música em formato digital.

<sup>5</sup> *Streaming* é uma tecnologia que envia informações multimídia, através da transferência de dados, utilizando redes de computadores, especialmente a Internet, e foi criada para tornar as conexões mais rápidas [11]. (significados, 2016)

<sup>6</sup> Plataformas digitais online, onde por meio de taxas, o usuário contrata serviços diversos de distribuição e publicação musical.

<sup>7</sup> Esta plataforma permite que os artistas, gravadoras, produtores e casas de evento criem um perfil e mantenham contato.

<sup>8</sup> Lei de Direitos Autorais



outros meios admitidos em Direito, obedecidas as seguintes limitações [2].

#### C. Direitos sobre marca e imagem:

“A marca registrada garante ao seu titular o direito de uso exclusivo no território nacional em seu ramo de atividade econômica pelo período de dez anos, a partir da data da concessão. O registro pode ser prorrogado por sucessivos períodos de dez anos” [7]. (INPI, 2015)

D. Vendas físicas: A receita proveniente de vendas físicas é dada pela comercialização de cd's, discos de vinil, camisetas e assessorios, souvenirs etc.

E. Vendas digitais: A receita proveniente de vendas digitais é dada por uma porcentagem da venda total.

F. Shows: A performance consiste em importante fonte de renda para os artistas renomados. Assim como para músicos intérpretes, que ganham a vida se apresentando em bares, restaurantes e eventos.

G. Crowdfunding: Conforme Fondevila Gascón, Rodríguez, Monforte, López, & Masip (2015), “Crowdfunding oferece enormes possibilidades para o marketing e comunicação, uma vez que facilita a circulação de novos projetos, gera o público e cria uma base social leal” [5].

O *crowdfunding* é uma ferramenta de financiamento coletivo de projetos que, no contexto da produção artístico-cultural, atua como mediador na comunicação do artista com pessoas que se dispõem voluntariamente a investir em seu trabalho [13]. (Silveira & Ribeiro, 2016).

Há três pilares que suportam uma campanha de crowdfunding: (i) um arrecadador, um empresário que acredita no projeto, habilidade empresarial e capacidade comunicativa para criar uma comunidade; (ii) o doador ou doadores que contribuem com dinheiro, e (iii) a plataforma crowdfunding que age como uma intermediária entre o arrecadador e os doadores [5]. (Gascón, Rodríguez, Monforte, López, & Masip, 2015)

H. Lei Rouanet: Segundo (MinC, 2009) “A Lei de Incentivo à Cultura, popularmente chamada de Lei Rouanet, é conhecida principalmente por sua política de incentivos fiscais. Esse mecanismo possibilita que cidadãos (pessoa física) e empresas (pessoa jurídica) apliquem parte do Imposto de Renda devido em ações culturais.” [9]

Sendo o recurso arrecadado destinado, exclusivamente, para confecção de uma ou mais obras, e não para renda do autor/compositor. Onde este contratará produtores, agentes terceiros profissionais para a produção, no caso da obra musical, confecção da gravação e prensagem de CD físico.

#### IV. METODOLOGIA

A Metodologia foi estruturada em duas partes, conforme descrito a seguir:

A. Desenvolvimento da pesquisa: Para fundamentar a pesquisa foi elaborada uma pesquisa bibliográfica e

documental, qualitativa, com a finalidade de identificar a necessidade dos setores na indústria musical. Pesquisa feita em livros, trabalhos acadêmicos e artigos sites de empresas e especializados no setor musical e universidades nacionais e internacionais.

Uma segunda parte deste trabalho constitui-se em apresentar a tecnologia DISRUPT ORCHESTRA, e para isto foi escolhido o Modelo de Negócios Canvas, para identificação das funcionalidades práticas e empresariais, assim como ferramentas de codificação e programação virtuais.

B. Canvas: O Modelo de Negócios Canvas, conforme Girardi (2014), “trata-se de uma ferramenta que oferece uma forma simples de descrever como uma empresa oferta seus serviços/produtos, como identifica e se relaciona com seus clientes e como viabiliza a estrutura material e financeira para fazer tudo isso” [6]

Por meio de nove componentes básicos, o Canvas esboça um diagnóstico do negócio. São eles: segmentos de clientes, proposta de valor, canais, relacionamento com clientes, fontes de receita, recursos principais, atividades-chave, parcerias principais e estrutura de custo.

Acreditamos que um Modelo de Negócios pode ser melhor descrito com nove componentes básicos, que mostram a lógica de como uma organização pretende gerar valor. Os nove componentes cobrem as quatro áreas principais de um negócio: clientes, oferta, infraestrutura e viabilidade financeira. O Modelo de Negócios é um esquema para a estratégia ser implementada através das estruturas organizacionais dos processos e sistemas [10]. (Osterwalder & Pigneur, 2013)

#### V. ANÁLISE E DISCUSSÕES: DESENVOLVIMENTO.

Neste tópico, é apresentada a plataforma digital DISRUPT ORCHESTRA e o modelo de negócios Canvas da tecnologia proposta para soluções das deficiências do mercado.

A. Alto Custo: Desde a composição de uma obra, até mesmo após a venda, o processo possui custos. Tais custos, referentes a serviços de terceiros.

As atividades do artista independente identificadas são as seguintes: Compor; Produzir: ensaiar, gravar, mixar, masterizar, contratar (músicos, produtor, engenheiro, estúdio e instrumentos/equipamentos/acessórios); Definir formato, embalar etc; Registrar: canais e informação; Publicar: canais e informação; Licenciar: canais e informação; Marca: canais, informação, registro de marca, imagem e branding; Lançar: canais e informação; Vender: marketing, relações públicas, canais e informação; Executar: apresentação (produtor, auxiliar, agente de shows); Gerir carreira: contador, empresário, investidores e outros.

Embora a tecnologia proposta nesta pesquisa vise auxiliar o seu público alvo em todos os itens descritos no parágrafo anterior, o objetivo e escopo deste projeto é apresentar o protótipo focado no auxílio com o registro das obras.

B. Necessidades do mercado: Modelos de negócios tecnológicos como o facebook, o nubank, o twitter etc, não cobram taxas de funcionamento de seus clientes. Este mesmo conceito é apresentado na plataforma digital e modelo de negócios: DISRUPT ORCHESTRA.

C. Apresentação do software proposto: A plataforma será digital e automatizada. Disponível ao público em dois formatos de acesso: aplicativo para aparelhos móveis smartphones e website. O cliente (autor, compositor, músico, produtor etc.) criará um perfil e terá um tutorial passo a passo de como iniciar a otimização de seus produtos. Um processo intuitivo, automatizado e seguro. Caso o cliente possua dúvidas além das respondidas e solucionadas pelo serviço automatizado, este, terá então uma consultoria personalizada por telefone, email ou mensagens com um especialista, o qual o orientará para a melhor ou melhores soluções possíveis.

DISRUPT ORCHESTRA passa não somente a ser um serviço de benfeitoria aos principais agentes do mercado, mas também uma ferramenta de capacitação, onde todos terão acesso às informações técnicas e profissionais em um único endereço. Permitindo assim o desenvolvimento de artistas amadores, facilitando sua profissionalização e aumentando as chances de serem futuros geradores de renda.

Tal modernização atinge ainda uma esfera maior, a esfera governamental. Uma vez que a plataforma estiver estabelecida e em pleno funcionamento, dados estatísticos e quantitativos poderão ser emitidos, possibilitando assim às instituições de fomento cultural traçarem metas mais precisas em benefícios de artistas nunca antes vistos.

DISRUPT ORCHESTRA terá como fonte de renda três entradas:

- Anúncios internos e externos (similar ao facebook).
- Porcentagem de vendas das músicas otimizadas pelos serviços da plataforma (similar ao Nubank).
- Venda de relatórios estatísticos da indústria sob encomenda (similar ao Twitter).

O protótipo conceitual apresentado neste projeto atinge somente algumas das descrições acima. Uma vez que é direcionado ao registro autoral de obras.

Desta forma, os artistas serão servidos gratuitamente sobre os aspectos citados anteriores, ou seja, sem custo algum para otimizarem sua composição. Tais custos são arcados com as rendas geradas pela plataforma, que são.

D. Aplicação do Canvas: Conforme Lopes (2015) “ao desenvolver um modelo de um negócio faz possível que ele seja compreendido por todos os envolvidos no empreendimento, além de garantir que se perceba a importância e inter-relação das principais áreas da empresa” [8].

Aplicando-se o Modelo Canvas da DISRUPT ORCHESTRA, são descritas as nove áreas: parceiros chave, atividades chave, recursos chave, proposta de valor, rel. com o cliente, canais, segmento de clientes, estrutura de custos e fluxo de receitas.

Denota-se, novamente, que o modelo proposto aborda o registro de obras somente. Entretanto, o modelo de negócios Canvas busca possibilitar uma visualização com base conceitual sobre o funcionamento completo do ciclo operacional da *Startup*.

**Figura 1 - Modelo Canvas - DISRUPT ORCHESTRA. Fonte: Os autores, 2017.**

Parceiros Chave	Atividades Chave	Proposta de Valor	Rel. com o Cliente	Segmento de Clientes
Parcerias com empresas de registro autoral; Agências de publicidade, associações e empresas que servem e consomem o ramo musical; Aplicativos e softwares de apoio tecnológico.	Relacionamento por redes sociais, serviços automatizados e tutoriais no site, onde o próprio cliente escolhe seus recursos e serviços.	Executar cadastramento de artistas, fornecendo todo trabalho burocrático musical de registro de obras sem taxa de serviço.	Atendimento automatizado, FAQ, atendimento telefônico personalizado após cadastro da dúvida.	Músicos independentes, compositores, intérpretes e produtores.
	Recursos Chave		Canais	
	Especialista em T.I.; Especialista na área legal musical; Parceria com todos os fornecedores de serviços musicais para registro autoral.		Site e aplicativo.	
Estrutura de Custos			Fluxo de Receitas	
Custos legais burocráticos de formalização e estruturação física, fiscal e empresarial. Custos de desenvolvimento e manutenção das plataformas e de servidor.			Anúncios pagos no site por anunciantes externos e internos. Geração de relatórios e sensores estatísticos com dados internos.	

- Parcerias chave: Parcerias com empresas de registro autoral; Agências de publicidade, associações e empresas que servem e consomem o ramo musical; Aplicativos e softwares de apoio tecnológico.
- Atividades chave: Relacionamento por meio de redes sociais; Serviços automatizados; Tutoriais no site, onde o próprio cliente escolhe seus recursos e serviços.
- Recursos chave: Especialista<sup>9</sup> em T.I.<sup>10</sup>; Especialista na área legal musical; Parceria com todos os fornecedores de serviços musicais para registro autoral.
- Estrutura de custos: Custos legais burocráticos de formalização e estruturação física, fiscal e empresarial; Custos de desenvolvimento e manutenção das plataformas e de servidor.
- Proposta de valor: Executar cadastramento de artistas, fornecendo todo trabalho burocrático musical de registro de obras sem taxa de serviço.
- Relacionamento com clientes: Atendimento automatizado; FAQ<sup>11</sup>; Atendimento telefônico personalizado após cadastro da dúvida.
- Canais: Site e aplicativo.
- Segmento de clientes: Músicos independentes, compositores, intérpretes e produtores. Secundários: Governo e agências de fomento cultural.
- Fluxo de Receita: Anúncios pagos no site por anunciantes externos e internos; Geração de relatórios e sensores estatísticos com dados internos.

E. Funcionamento: Observa-se a tela de entrada da plataforma DISRUPT ORCHESTRA. Denota-se a área de cadastro para novos clientes “sing up” e a área de acesso a clientes correntes “log in”. Destaca-se que a webpage e aplicativo funcionais serão mais completos e dotados de mais informações na página inicial, tais como: links para redes sociais, links para blogs, fóruns musicais relevantes ao desenvolvimento do artista, links para vídeos e canais informativos.

F. Clientes primários: O novo cliente se cadastrará com uso de redes sociais tais como facebook e linkedin<sup>12</sup>, juntamente com documentos pessoais, para fim de que toda obra registrada em seu nome esteja automaticamente atrelada a sua verdadeira identidade. Visando a idoneidade e a possibilidade de busca de futuros negócios.

O cliente corrente terá acesso a seu perfil contendo: dados de sua conta; opção de otimização de obra (s); biblioteca de suas obras próprias e seu andamento do processo de otimização; oportunidades personalizadas; cursos indicados; outros artistas e possíveis parceiros; cadastro de dúvida e agendamento de consultoria; outros serviços.

<sup>9</sup> Também conhecido como C.T.O. (*Chief Technology Officer*). Diretor Executivo de T.I.

<sup>10</sup> T.I., Tecnologia da Informação.

<sup>11</sup> FQA, Frequently Asked Questions, do inglês, Perguntas Frequentes.

<sup>12</sup> LinkedIn é uma plataforma online com perfis profissionais. Criando uma rede de social de negócios.

Na opção de ‘**otimização de obras**’, objetivo apresentado no escopo deste projeto, o cliente terá o serviço automatizado passo a passo de como registrar sua obra. A DISRUPT ORCHESTRA trará ao cliente todas as formas de registro disponíveis no mercado, assim como toda informação relevante disponível, deixando a critério de o cliente fazer a escolha final.

Uma vez que o cliente estiver confiante a fazer sua escolha, a DISRUPT ORCHESTRA assume, contatando a devida empresa parceira, e executando o devido registro em nome do cliente, sendo este, livre de toda burocracia e custos. Uma vez completo o ciclo de registro, a DISRUPT ORCHESTRA disponibilizará no perfil do cliente o certificado e novas orientações para possíveis novos negócios e oportunidades.

G. Clientes Secundários: Os clientes secundários poderão solicitar serviços por meio de contato exclusivo. Sendo estes serviços: disponibilização de dados; relatórios personalizados da indústria musical.

Há necessidade de segurança de informação para que os dados de todos os clientes sejam preservados e livres de quaisquer ameaças. Este assunto, porém, está fora do escopo e pode ser deveras extenso.

H. Parceiros: DISRUPT ORCHESTRA estabelecerá vínculo com todas as tecnologias disponíveis no mercado, distribuindo aos mesmos, clientes diversos nunca antes atingidos por seus planos estratégicos e de marketing. Portanto gerando receita e valor a todas estas empresas. Dado o fato, a DISRUPT ORCHESTRA negociará um preço menor em todos os serviços oferecidos por estes parceiros, permitindo, então, o baixo custo por serviço e garantindo volume de compras.

I. Otimização: Quanto à otimização de uma obra, o termo de escolha do desenvolvedor da tecnologia e autor deste trabalho, refere-se ao cadastramento do ativo intangível, ou seja, da composição enquanto ideia.

Uma vez criada a música, esta deverá ser gravada e/ou escrita para que possa ser devidamente registrada e possa receber um documento autenticando sua data de registro e a quem tal obra pertence.

J. Síntese do projeto: DISRUPT ORCHESTRA é uma proposta que permitirá a artistas amadores e independentes otimizar suas obras com a clara proposta de desenvolvimento profissional. É inusitada por estar completamente na contramão da indústria musical. Onde as empresas de assessoria a artistas cada vez mais cobram pelos seus serviços, a DISRUPT ORCHESTRA fará todo o projeto gratuitamente.

Para completar será utilizado serviço das mesmas empresas do mercado, sendo a DISRUPT ORCHESTRA uma captadora de clientes para as mesmas, eliminando única hipótese de óbvia concorrência.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da pesquisa consistiu em identificar quais as necessidades das seguintes partes envolvidas na indústria musical: músicos independentes, compositores e intérpretes que buscam novas oportunidades comerciais. Este trabalho ainda visou apresentar a tecnologia DISRUPT ORCHESTRA, desenvolvida pelos pesquisadores/autores para solução da problemática. A plataforma *mobile*, DISRUPT ORCHESTRA, neste projeto, apresentou somente a função de registro de músicas. Estava fora do escopo deste projeto apresentar o software em funcionamento completo, ou seja, com todas as funções.

A pesquisa permite vislumbrar o potencial do mercado independente, conduzido pelas gravadoras independentes, gozando de lucros de centena de milhões de reais, denotando a existência de demanda para o produto música. Sendo assim, um mercado gerador de lucros e em ascensão mundial.

A proposta de criação da DISRUPT ORCHESTRA traz a comodidade e a praticidade ao seu público alvo, artistas independentes, compositores e intérpretes, alinhando o serviço especializado de registro das obras musicais completamente gratuitamente. Onde, pela primeira vez na história da música, o artista não é o primeiro a gastar e o último a lucrar. Permitindo assim que obras sejam registradas independentes da condição financeira do compositor, de sua localização ou de seus conhecimentos técnicos.

A tecnologia DISRUPT ORCHESTRA não somente atua no público alvo primário, mas também tendo o governo brasileiro como secundário. Uma vez que obras serão registradas e contabilizadas os lucros provenientes das mesmas, mais informações e tributos serão gerados. Estabelecendo novos padrões fiscais para o ramo, e mais receitas geradas no mercado, contribuindo diretamente com o crescimento econômico do setor.

Este trabalho se limitou nas informações disponíveis, por meio de livros e sites de empresas do setor, assim como sites de órgãos governamentais e universidades nacionais e internacionais. Ainda que haja uma gama incalculável de informações, há muita informação parcial, há muito equívoco e pouco material acadêmico no assunto.

Uma segunda limitação trata-se da incapacidade dos autores de desenvolver softwares, impossibilitando que o produto fosse desenvolvido juntamente com o resultado desta pesquisa.

Neste trabalho ficam as seguintes sugestões para desenvolvimento de pesquisas posteriores: Estudo dos artistas amadores por região no Brasil; Estudo de renda de artistas amadores; Apresentar o software em funcionamento completo, ou seja, com todas as funções.

## REFERÊNCIAS

- [1] Associação Brasileira dos Produtores de Discos. (2014), “Mercado brasileiro de música 2014. Disponível em: <goo.gl/REXZ5e>. Acesso em: 29/03/2016.
- [2] Brasil. (19 de 02 de 1998). Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998. Disponível: <http://www.planalto.gov.br/ccivil\_03/leis/L9610.htm>. Acesso em 18/10/2016.
- [3] Ferreira, J. M. (2013), “Indústria fonográfica e as novas plataformas sonoras: um estudo exploratório sobre o mercado brasileiro de música,” unpublished.. Disponível em: <http://repositorio.uniceub.br/handle/235/5013>. Acesso em 31/05/2016.
- [4] Fundação Carlos Alberto Vanzolini. (2012). Estimativa do mercado independente. Fundação Vanzolini. Disponível em: <goo.gl/Y4qqMY>. Acesso em: 29/03/2016.
- [5] Gascón, J. F., Rodríguez, J. R., Monforte, J. M., López, E. S., & Masip, P. M. (2015), “Crowdfunding como uma fórmula para o financiamento de projetos: uma análise empírica,” Revista Científica Hermes, pp. 24-47. Disponível em: <http://www.redalyc.org/html/4776/477647161003/>. Acesso em: 08/11/2016.
- [6] Girardi, F. (2014), “Modelagem de um negócio de economia criativa na área de fotografia conforme o modelo canvas de negócios. Porto Alegre,” unpublished. Disponível em: <goo.gl/m2hLSH>. Acesso em: 20/09/2016.
- [7] INPI. (22 de 04 de 2015), “Marca – Mais informações,” acesso em 18/10/2016. Disponível em: < goo.gl/YFFC4Dcontent\_copy>. Acesso em: 20/09/2016.
- [8] Lopes, T. d. (2015), “Uso da metodologia de canvas para o planejamento e desenvolvimento de novos negócios,”. Disponível em: <http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/7675> .Acesso em: 20/09/2016.
- [9] MinC. (13 de 11 de 2009), “Lei Rouanet”. Disponível: <http://www.brasil.gov.br/cultura/2009/11/lei-rouanet>. Acesso em 07/06/2017.
- [10] Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2013), “Business model generation: inovação em modelos de negócios” Rio de Janeiro: Alta Books Editora, pp. 15.
- [11] Significados. (2016). Disponível em Significados.com.br: <http://www.significados.com.br/streaming/>. Acesso em 31/05/2016.
- [12] Silva, M. C., Souza, F. J., Araújo, F. R., & Silva, J. D. (2015), “Metodologia científica para as ciências sociais aplicadas: análises críticas sobre métodos e tipologias de pesquisas e destaque de contribuições de Marx, Weber e Durkheim,” Revista Científica Hermes, V. 14. pp. 159-179. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477647160010>. Acesso em: 17/06/2017.
- [13] Silveira, M. K., & Ribeiro, M. R. (2016), “Crowdfunding e novas estratégias de produção e distribuição cinematográfica no Brasil atual,” Revista Estética, pp 3. Disponível em: <http://www.usp.br/estetica/index.php/estetica/article/view/76>. Acesso em 20/09/2016.

# *Estudo da caracterização do PDMS e suas aplicações na biomédica*

Andrews Victor

Instituto Politécnico de Bragança - ESTIG  
Bragança, Portugal  
CEFET/RJ  
Rio de Janeiro, Brasil  
Andrewsv81@gmail.com

João Eduardo Ribeiro

Instituto Politécnico de Bragança - ESTIG  
Bragança, Portugal

Fernando da Silva Araújo

Departamento de Engenharia Mecânica  
CEFET/RJ  
Rio de Janeiro, Brasil

Alexandre Luiz Pereira

Departamento de Engenharia Mecânica  
CEFET/RJ  
Rio de Janeiro, Brasil

**Abstract**—Polydimethylsiloxane, also known as PDMS, has been widely used in the biomedical industry because of its biocompatible material and its biomechanical behavior similar to biological tissues, with applications in such devices as: Micro pumps, optical systems, microfluidic circuits and the study of aneurysmal behavior. Many advances in research have been reached, but further tests are still necessary to understand the mechanical behavior and applicability of the material. For the study of PDMS behavior, two different techniques are employed: numerical and experimental. In the experimental part it is common to use field technique, where the most appropriate technique to measure the field displacement of the PDMS, without uncorrelation, is the Digital Image Correlation (DIC). In this paper review, we will present the properties, biomedical applications and techniques of the experimental study of PDMS.

**Keywords**— PDMS; DIC; material hiperelástico;

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente, os elastômeros (borrachas) têm sido objeto de estudo de muitos pesquisadores, devido a algumas características biomecânicas muito interessantes, tais como: flexibilidade, estabilidade química e resistência à corrosão. Entre os vários elastômeros existentes no mercado, há um que se tem vindo a destacar nos últimos anos e que é o polidimetilsiloxano, também conhecido como PDMS. Este material tem vindo a ser aplicado em várias áreas industriais e que vão desde a mecânica à eletrônica, passando pela biomedicina. Algumas das razões que levam à sua utilização tão extensiva prendem-se com a facilidade no processo de fabrico, à sua transparência óptica, biocompatibilidade e ao seu baixo custo. Assim, algumas das aplicações mais relevantes do PDMS são sensores mecânicos [1], componentes eletrônicos [2], sensores eletroquímicos [3], equipamentos médicos [4], na área de pesquisa biomédica [5], entre outras.

Na revisão do estado da arte aqui apresentada, será abordada a aplicação do PDMS na área da biomedicina, área esta que está evoluindo com o objetivo de aprimorar técnicas, materiais e equipamentos que sejam capazes de auxiliar na compreensão do comportamento de determinadas patologias e seus respectivos

tratamentos. Relacionado com o tema da biomédica, verifica-se que o PDMS tem um comportamento biomecânico que se aproxima de alguns tecidos biológicos e que é qualificado como hiperelasticidade. O comportamento hiperelástico caracteriza-se pela capacidade que alguns materiais têm de sofrer grandes deformações antes da sua ruptura. Para o estudo de materiais com este tipo de comportamento é usual utilizarem-se duas abordagens distintas: numérica e experimental. Para a abordagem numérica recorre-se, geralmente, aos elementos finitos para simular o comportamento hiperelástico, neste caso, é necessário utilizar modelos constitutivos que são mais adequados ao material em estudo e, normalmente, é necessário efetuar ensaios de tração (uni ou biaxiais) para melhor caracterizar o material em análise. Na abordagem experimental, é muito comum a utilização de técnicas de campo, como é o caso do ESPI (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*) [6], *Shearography* [7] ou a Correlação Digital de Imagem (CDI) [8]. Contudo, para o caso de materiais hiperelásticos a técnica mais adequada é a de CDI pois permite um campo de medição com grandes deslocamentos e que não é possível com as outras técnicas de campo sem que ocorra a des correlação. Por essa razão, a técnica experimental que terá uma maior relevância neste trabalho será a CDI.

## II. POLIDIMETILSILOXANO (PDMS)

O polidimetilsiloxano é um polímero pertencente ao grupo dos elastômero de silicone, sendo um material hiperelástico, que tem uma vasta aplicação na indústria biomédica, desde lentes de contato, dispositivos médicos até na área de pesquisa e comportamentos de doenças [9], atraindo assim, a atenção de muitos pesquisadores que veem no PDMS um material mais sofisticado que pode substituir métodos anteriores e entregar dados mais precisos.

A síntetização do silicone foi obtida pela primeira vez em 1950 pela empresa Wacker Chemie [10]. Uma das primeiras utilizações do PDMS ocorreu no encapsulamento de componentes eletrônicos, a fim de prolongar a vida útil dos *chips*. Com o desenvolvimento da tecnologia e o avanço dos estudos do comportamento e suas características o PDMS vem

ganhando novas aplicações na micro e nanotecnologia e no estudo do comportamento biofísico do fluxo sanguíneo em microvasos [11].

## A. Estrutura do PDMS

O PDMS pertence ao grupo dos siloxanos, porém no seu surgimento foi atribuído o nome de silicetones ou silicones, mas como não existia uma dupla ligação de Si=S, o seu nome foi, posteriormente, substituído por uma nomenclatura específica e a sua unidade básica de repetição tornou-se conhecida como siloxanos. O material mais conhecido desse grupo é o PDMS, um polímero sintético cujo eixo principal é feito da repetição de ligações de silício e oxigênio e grupos metilo [12]. Uma vez que os grupos metil podem ser substituídos por outros grupos, por exemplo, fenilo ou vinilo permitindo a ligação de grupos orgânicos a inorgânicos, o PDMS pode assumir propriedade única, sendo alterado para diferentes aplicações.

## B. Propriedades Gerais do PDMS

O PDMS é um material que apresenta boas características microestruturais, tem uma boa facilidade de fabrico e um baixo custo. No estudo dos microfluídicos verifica-se que o PDMS apresenta propriedades superiores às antigas técnicas que utilizavam materiais como o vidro e o silício, a utilização do PDMS torna o trabalho mais simples e de baixo custo [13]; [14]. Além disso, o PDMS é termicamente estável, opticamente transparente [15], funciona como isolante térmico e elétrico [16], tem boa estabilidade química e se degrada em ambiente natural com rapidez, quando comparado com outros polímeros, não representando, por isso, um problema ambiental.

A principal desvantagem, sob o ponto de vista biomédico, é a dificuldade de molhamento da sua superfície com solventes aquosos. Isso ocorre devido ao fato do PDMS apresentar uma superfície hidrofóbica [17] por causa dos seus grupos CH<sub>3</sub>, o que pode levar à fixação de moléculas de líquido e gases como corantes fluorescentes [18] e solventes orgânicos [19].

Dado essa desvantagem, muito esforço tem sido dedicado para melhorar as propriedades superficiais e molhantes do PDMS [20]; [21]; [22]. Embora tenham sido alcançados muitos progressos, como o tratamento com plasma de oxigênio, tonando a superfície do PDMS hidrofílica, porém, essas técnicas mostram alguma deficiência ao não revelar que o PDMS torna se temporariamente hidrofílica não se preocupando com a durabilidade e estabilidade dos revestimentos [23]; [24], provando, assim, que ainda se pode avançar bastante no estudo da estabilidade dos tratamentos do PDMS [25].

Adicionalmente, uma de suas vantagens consiste no fato do PDMS ser capaz de modificar quimicamente sua estrutura, abrindo caminho, assim, para novas aplicações e necessidade de novos estudos para entender seu comportamento e aplicabilidade [26]; [27].

Outras propriedades importantes do PDMS são a permeabilidade e elasticidade. A permeabilidade é o produto da solubilidade de um gás num polímero e a sua difusidade. Os siloxanos tem permeabilidade maior do que a maioria dos elastômeros. A permeabilidade do PDMS o torna vantajoso para aplicações industriais, onde é preciso a separação de gases com

o material como, por exemplo, no desenvolvimento de peles artificiais para queimaduras [28].

A boa capacidade elástica dos silicones provém da estrutura Si-O ser mais flexível do que outros polímeros convencionais que possui estruturas de carbono C-C. Porém, não se deve definir a flexibilidade dos siloxanos apenas pela sua facilidade de torção, mas também por sua possibilidade de dobramento tão grande que pode se inverter [12].

Por existir posições bastante enroladas o PDMS oferece uma boa elasticidade. Assim, quando sujeito a uma força de tração, o polímero é esticado, desenrolado e libertando a sua tensão e, em seguida, acontece o retorno ao seu estado inicial quando o carregamento é removido. O polímero tem sua elasticidade determinada pela capacidade de suas regiões que estão próximas de deslizarem umas sobre as outras, esta propriedade sofre a influência do número de ligações cruzadas existentes, quanto mais reticulado for o PDMS, menos ele será elástico [12].

## III. BIOCOMPATIBILIDADE

Uma característica importante do PDMS é a biocompatibilidade, que é a capacidade de um material ser compatível com o tecido biológico.

Qualquer material, ao ser implantado no corpo humano provoca uma resposta inflamatória, devido à reação do sistema imunológico que começa a trabalhar com o objetivo de remover o corpo estranho [29]; [30], podendo levar ao seu encapsulamento e, assim, prejudicando o funcionamento do dispositivo implantado [31]; [32]; [33]. Devido a esse efeito, surgiu a necessidade de procurar materiais que proporcionem o mínimo de impacto sobre o tecido [34], sendo esse um aspecto do PDMS que reduz o impacto e as interferências da resposta tecidual.

O fato do PDMS ser biocompatível e bioestável faz com que ele seja o polímero implantável mais estudado. A inclusão do PDMS no organismo origina comportamentos não irritantes e sensibilizantes, que explicam a sua ampla utilização em cuidados pessoais e aplicações cutâneas tópicas. Uma longa história de uso em dispositivos médicos, incluindo implantes de longo prazo, fez com que os silicones fossem amplamente reconhecidos como biocompatíveis. Atualmente, o PDMS tem sido utilizado como revestimento em dispositivos para serem implantados tanto em humanos como em animais [35]; [36]. Um pré-requisito para tal material é que ele não deve causar grande inflamação após a intervenção cirúrgica, e o comportamento celular não deve ser alterado por produtos tóxicos que difundem fora do próprio material. Estas investigações de material básico são identificadas em testes de citotoxicidade *in vitro* com culturas de células padronizadas. A norma internacional ISO 10993 "Avaliação biológica de dispositivos médicos" descreve sistemas de teste, procedimentos e esquemas de avaliação para classificar um implante como biocompatível ou não. O teste de citotoxicidade ajuda a reduzir os experimentos com animais e permite a avaliação de diferentes materiais devido a linhas celulares padronizadas e específicas de aplicação [36].

## A. Biocompatibilidade Estrutural

A biocompatibilidade superficial descreve apenas um aspecto desta característica. Por outro lado, a biocompatibilidade



estrutural refere-se à interação mecânica entre o implante e o tecido circundante e inclui peso, forma e flexibilidade (módulo de Young). Então, a não adaptação mecânica do material com o tecido causa inflamações, pois a partir do momento que é implantado um material com propriedades mecânicas incompatíveis com o tecido, dá-se início às reações das células que reagem e, posteriormente, envolvem o implante. Os polímeros hiperelásticos apresentam um grande módulo de elasticidade e possuem propriedades atraentes em relação à biocompatibilidade estrutural.

#### B. Bioestabilidade

O tempo de permanência de um implante no corpo humano costuma ser longo. A bioestabilidade está ligada à integridade do material ao longo do tempo de permanência no corpo, onde metais não devem sofrer corrosão e o revestimento não se deve deteriorar. Em polímeros, a degradação hidrolítica, oxidativa e enzimática pode ocorrer e pode ser acelerada por mudanças de pH e tensões nas linhas de interconexão integradas. Ensaios de imersão *in vitro*, por exemplo, em soro fisiológico, Ringer's ou meios de cultura de células permitem uma primeira aproximação da biostabilidade dos materiais e são frequentemente realizados a temperaturas mais elevadas para acelerar os processos de difusão e, deste modo, a sua influência no envelhecimento e o tempo médio até à falha [36].

### IV. APLICAÇÕES MÉDICAS DO PDMS

Devido às suas características de biocompatibilidade, estabilidade química, transparência e elasticidade mecânica, o PDMS tem sido muito utilizado em dispositivos biomédicos como cateter e tubulação de drenagem, membrana de diálise [37], micro bombas [38], micro válvulas [39], encontrado frequentemente em circuitos fluídicos [40]; [41]; [42], sistemas óticos (lentes adaptativas) [43]; [44]; [45]. Também tem sido empregado como material de pesquisa, ajudando a compreender o comportamento de doenças como o aneurisma e seus respectivos tratamentos [9]; [46], e em implantes [47]; [48].

#### A. Utilização do PDMS na Avaliação do Aneurisma

O aneurisma ocorre quando a parede da artéria enfraquece, ocorrendo uma dilatação com forma sacular [49], as causas do enfraquecimento da parede ainda são desconhecidas. Podendo ter origem em defeitos congênitos, alterações ateroscleróticas, traumatismo ou êmbolos infecciosos, alguns outros fatores podem estar relacionados com o aparecimento do aneurisma, como a hipertensão, o tabagismo, o uso excessivo de álcool, o aumento da idade e tende a ter uma ocorrência maior no sexo feminino. A ruptura do aneurisma pode significar um risco muito grande de morte [50], estima que 2,6% da população geral tem aneurisma intracraniano e é responsável por quase 85% das hemorragias subaracnóideas [51].

Vários estudos têm sido feitos para entender o comportamento hemodinâmico das células sanguíneas na artéria, no entanto ainda faltam estudos hemodinâmicos para entender os efeitos mecânicos na expansão das paredes do aneurisma.

Recentemente, um estudo realizado *Rodrigues et al* [9] desenvolveu e fabricou um modelo de aneurisma intracraniano utilizando uma impressora 3D e o material PDMS a fim de

simular o comportamento mecânico dos vasos sanguíneos. Os campos de deslocamento do aneurisma foram obtidos utilizando a técnica de correlação digital de imagem (CDI) e os resultados dos testes serviram para posterior validação de simulação numérica por meio de elementos finitos.

#### B. Utilização do PDMS Injetável para o Reparação do Aneurisma

Como já foi visto, o aneurisma é um enfraquecimento das paredes arteriais tornando-as finas e com grande risco de ruptura, assim, os aneurismas não rompidos, mas quando descobertos a tempo, geralmente, são reparados. Uma complicação que afeta o sucesso dessas reparações é a migração do enxerto de *stent*, que pode causar *endoleak* do tipo 1 ou até mesmo a ruptura do aneurisma.

Recentemente foi proposto um método de exclusão do aneurisma, que consiste na injeção de um elastômero biocompatível (PDMS) na região do aneurisma, reduzindo a tensão da parede e consequentemente, a ruptura do aneurisma [52]; [53]; [46].

### V. CORRELAÇÃO DE IMAGEM DIGITAL (DIC)

A fim de estudar o comportamento mecânico dos materiais é necessário medir grandezas como tensão e o deslocamento. A técnica da Correlação Digital de Imagem (*Digital Image Correlation* – DIC) é um método óptico, sem contato, que, basicamente, consiste em obter imagens de um objeto com um padrão aleatório preestabelecido, realiza sua gravação e faz uma comparação das imagens, em dois estados distintos, não deformado e deformado, a fim de determinar o campo de deslocamento. Atualmente, a técnica vem se tornando atrativa devido à simplicidade dos equipamentos, quando comparado com outros métodos de análise de deformação, além de ser um método capaz de definir campos de deslocamentos e não apenas deslocamentos pontuais e ser de elevada precisão. As possibilidades de utilização do método são muito amplas, devido ao fato de poder medir pequenos deslocamentos em escala micro e nano e também medir grandes deslocamentos de diversas dimensões. A técnica CDI tem sido utilizada tanto no estudo dos polímeros hiperelásticos [54]; [55]; [56], como também na análise do comportamento mecânico de diversos materiais utilizados nas indústrias [57]; [58].

Dependendo da sua aplicação a correlação digital de imagem pode ser dividida em três formas diferentes: 2D que determina o campo de deslocamentos no plano [59], 3D determinando o campo de deslocamentos no plano e fora dele [60] e a utilização, mais recente, da Correlação Digital de Volume, que é uma técnica que usa a tomografia computadorizada de raio-X e assim determina as deformações em todo o corpo [61]. A composição do equipamento consiste na utilização de câmeras CCD (*charged-coupled device*) de alta resolução digital, sendo uma ou duas câmeras para medição em 2D e 3D, respectivamente, iluminação não especial, e computador com *software* de correlação de imagem, conforme ilustrado na Fig. 1.

As mudanças nas imagens podem ser descritas pelos mesmos conceitos da teoria do contínuo, que governam a deformação em pequenas áreas. No campo da mecânica experimental este conceito inicial foi refinado e incorporado em algoritmos numéricos para extrair da sequência de imagens o

valor da deformação. O registro digital das imagens tem sido realizado com vários padrões, entre eles: linhas, grades, pontos e matrizes. Um método bastante utilizado é o que usa padrão aleatório, comparando sub-regiões ao longo da sequência das imagens [62].



Fig. 1. Equipamento de correlação digital de imagem 3D. [9]

Esta técnica rastreia os blocos de pixels das sub-regiões, permitindo a medição do deslocamento da superfície e, assim, gerando o vetor campo de deslocamento. A fim de que o método tenha um desempenho eficaz, é necessário que os blocos de pixels sejam aleatórios e exclusivos com uma gama de níveis de contraste e intensidade.

O cálculo de correlação se dá por meio da comparação das imagens do corpo antes de sofrer a deformação e após a deformação, mapeando a posição inicial e final dos pontos determinando assim seu campo de deslocamento, conforme o esquema mostrado Fig. 2.

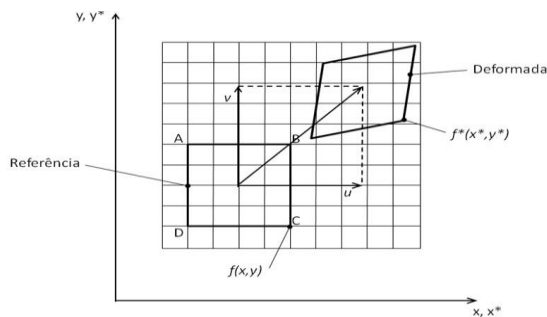


Fig. 2 Variação do estado inicial (referência) para o estado final (deformado) [63].

$$C^*(u^*, v^*) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [f(x_i, y_j) - \bar{f}][g(x'_i, y'_j) - \bar{g}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [f(x_i, y_j) - \bar{f}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [g(x'_i, y'_j) - \bar{g}]^2}} \quad (1)$$

Em que:

$$x' = x + u_0 + \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial u}{\partial y} \cdot dy \quad (2)$$

$$y' = y + v_0 + \frac{\partial v}{\partial x} \cdot dx + \frac{\partial v}{\partial y} \cdot dy \quad (3)$$

O valor dos pixels da imagem não deformada é apresentado pela função  $f(x, y)$  e o da imagem deformada é apresentado pela

função  $g(x', y')$ ,  $\bar{f}$  e  $\bar{g}$  são valores médios das imagens e  $u$  e  $v$  são as componentes centrais de deslocamento nas direções  $x$  e  $y$ , respectivamente.

O método CDI, assim como outras técnicas de campo, apresenta algumas vantagens, entre elas se destacam que qualquer objeto pode ser medido, independente da sua temperatura, não há necessidade de luz especial, o aparato óptico utilizado é simples, é um método não destrutivo, tem um baixo custo e pode ser utilizado em diversos tipos de materiais, como metais, polímeros, compósitos, biológicos, entre outros.

## VI. CONCLUSÃO

O PDMS tornou-se um material muito utilizado na biomédica. Neste artigo, foi apresentada a relevância do PDMS em diferentes aplicações médicas e em novas técnicas, como, recentemente no estudo do comportamento do aneurisma, mostrando assim, a importância do PDMS no presente e no futuro da biomedicina. Para melhor caracterizar este material é necessário recorrer a técnicas óticas de campo, sendo a técnica de correlação digital de imagem a mais adequada para aplicação a materiais com um comportamento hiperelástico que é intrínseco ao PDMS.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. H. Kim, K. T. Lau, R. Shepherd, Y. Wu, G. Wallace, and D. Diamond, "Performance characteristics of a polypyrrole modified polydimethylsiloxane (PDMS) membrane based microfluidic pump," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 148, no. 1, pp. 239–244, 2008.
- [2] Y. H. Lin, S. W. Kang, and T. Y. Wu, "Fabrication of polydimethylsiloxane (PDMS) pulsating heat pipe," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 2–3, pp. 573–580, 2009.
- [3] J. Casanova-Moreno, J. To, C. W. Tony Yang, R. F. B. Turner, D. Bizzotto, and K. C. Cheung, "Fabricating devices with improved adhesion between PDMS and gold-patterned glass," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 246, pp. 904–909, 2017.
- [4] N. Tiercelin, P. Coquet, R. Sauleau, V. Senez, and H. Fujita, "Polydimethylsiloxane membranes for millimeter-wave planar ultra flexible antennas," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 16, no. 11, pp. 2389–2395, 2006.
- [5] E. K. Sackmann, A. L. Fulton, and D. J. Beebe, "The present and future role of microfluidics in biomedical research," *Nature*, vol. 507, no. 7491, pp. 181–9, 2014.
- [6] D. Pinho, D. Bento, J. Ribeiro, R. Lima, M. Vaz, "An In Vitro Experimental Evaluation of the Displacement Field in an Intracranial Aneurysm Model". Book Chapter in the "New Trends in Mechanism and Machine Science: From Fundamentals to Industrial Applications". Edited by Springer, pp. 261-268, 2014. ISBN 978-3-319-09410-6.
- [7] H. Lopes, J. Ribeiro, J. Santos, "Interferometric Techniques in Structural Damage Identification", *Journal of Shock and Vibration*, Volume: 19, Issue 5, pp. 835-844, 2012.
- [8] L. Nunes, "Shear modulus estimation of the polymer polydimethylsiloxane (PDMS) using digital image correlation", *Materials & Design*, Volume 31, Issue 1, pp. 583-588.
- [9] R. O. Rodrigues, D. Pinho, D. Bento, R. Lima, and J. Ribeiro, "Wall expansion assessment of an intracranial aneurysm model by a 3D Digital Image Correlation System," *Measurement*, vol. 88, pp. 262–270, 2016.
- [10] F. Schneider, T. Fellner, J. Wilde, and U. Wallrabe, "Mechanical properties of silicones for MEMS," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 18, no. 6, p. 65008, 2008.
- [11] R. Lima *et al.*, "In vitro blood flow in a rectangular PDMS microchannel: Experimental observations using a confocal micro-PIV system," *Biomed. Microdevices*, vol. 10, no. 2, pp. 153–167, 2008.

- [12] J. Kuncová-Kallio and P. J. Kallio, "PDMS and its suitability for analytical microfluidic devices," *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. - Proc.*, pp. 2486–2489, 2006.
- [13] S. Hemmälä, J. V. Cauch-Rodríguez, J. Kreutzer, and P. Kallio, "Rapid, simple, and cost-effective treatments to achieve long-term hydrophilic PDMS surfaces," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 258, no. 24, pp. 9864–9875, 2012.
- [14] J. Zhao, D. A. Sheadel, and W. Xue, "Surface treatment of polymers for the fabrication of all-polymer MEMS devices," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 187, pp. 43–49, 2012.
- [15] S. Martin and B. Bhushan, "Transparent, wear-resistant, superhydrophobic and superoleophobic poly(dimethylsiloxane) (PDMS) surfaces," *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 488, pp. 118–126, 2017.
- [16] E.A. Cherney, "Silicone rubber dielectrics modified by inorganic fillers for outdoor high voltage insulation applications," *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.*, Vol. 12, No. 6, pp. 1108–1115, 2005.
- [17] M. E. Vlachopoulou, P. S. Petrou, S. E. Kakabakos, A. Tserepi, K. Beltsios, and E. Gogolides, "Effect of surface nanostructuring of PDMS on wetting properties, hydrophobic recovery and protein adsorption," *Microelectron. Eng.*, vol. 86, no. 4–6, pp. 1321–1324, 2009.
- [18] A. R. Abate, D. Lee, T. Do, C. Holtze, and D. a Weitz, "Glass coating for PDMS microfluidic channels by sol-gel methods," *Lab Chip*, vol. 8, no. 4, pp. 516–8, 2008.
- [19] J. N. Lee, C. Park, and G. M. Whitesides, "Solvent Compatibility of Poly(dimethylsiloxane)-Based Microfluidic Devices," *Anal. Chem.*, vol. 75, no. 23, pp. 6544–6554, 2003.
- [20] H. Makamba, J. H. Kim, K. Lim, N. Park, and J. H. Hahn, "Surface modification of poly(dimethylsiloxane) microchannels," *Electrophoresis*, vol. 24, no. 21, pp. 3607–3619, 2003.
- [21] F. Abbasi, H. Mirzadeh, and A. A. Katbab, "Modification of polysiloxane polymers for biomedical applications: A review," *Polym. Int.*, vol. 50, no. 12, pp. 1279–1287, 2001.
- [22] J. Zhou, A. V. Ellis, and N. H. Voelcker, "Recent developments in PDMS surface modification for microfluidic devices," *Electrophoresis*, vol. 31, no. 1, pp. 2–16, 2010.
- [23] D. Bodas, J. Y. Rauch, and C. Khan-Malek, "Surface modification and aging studies of addition-curing silicone rubbers by oxygen plasma," *Eur. Polym. J.*, vol. 44, no. 7, pp. 2130–2139, 2008.
- [24] S. G. S. Bhattacharya, A. Datta, J. M. Berg, "Studies on Surface Wettability of Poly ( Dimethyl ) Siloxane ( PDMS ) and Glass Under Oxygen-Plasma," *J.MicroElecMechSys*, vol. 14, no. 3, pp. 590–597, 2005.
- [25] C. De Menezes Atayde and I. Doi, "Highly stable hydrophilic surfaces of PDMS thin layer obtained by UV radiation and oxygen plasma treatments," *Phys. Status Solidi Curr. Top. Solid State Phys.*, vol. 7, no. 2, pp. 189–192, 2010.
- [26] Y. Qin, P. Yeh, X. Hao, and X. Cao, "Developing an ultra non-fouling SU-8 and PDMS hybrid microfluidic device by poly(amidoamine) engraftment," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 127, pp. 247–255, 2015.
- [27] C. Yang and Y. J. Yuan, "Investigation on the mechanism of nitrogen plasma modified PDMS bonding with SU-8," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 364, pp. 815–821, 2016.
- [28] T. J. Keane and S. F. Badylak, "Biomaterials for tissue engineering applications," *Semin. Pediatr. Surg.*, vol. 23, no. 3, pp. 112–118, 2014.
- [29] B. D. Ratner and S. J. Bryant, "Where We Have Been and Where We Are Going," *Annu Rev Biomed Eng*, vol. 6, no. 1, pp. 41–75, 2004.
- [30] P. M. Klinge *et al.*, "Immunohistochemical characterization of axonal sprouting and reactive tissue changes after long-term implantation of a polyimide sieve electrode to the transected adult rat sciatic nerve," *Biomaterials*, vol. 22, no. 17, pp. 2333–2343, 2001.
- [31] A. W. Bridges, N. Singh, K. L. Burns, J. E. Babensee, L. Andrew Lyon, and A. J. Garcia, "Reduced acute inflammatory responses to microgel conformal coatings," *Biomaterials*, vol. 29, no. 35, pp. 4605–4615, 2008.
- [32] M. Van Beek, L. Jones, and H. Sheardown, "Hyaluronic acid containing hydrogels for the reduction of protein adsorption," *Biomaterials*, vol. 29, no. 7, pp. 780–789, 2008.
- [33] H. Chen, Y. Chen, H. Sheardown, and M. A. Brook, "Immobilization of heparin on a silicone surface through a heterobifunctional PEG spacer," *Biomaterials*, vol. 26, no. 35, pp. 7418–7424, 2005.
- [34] R. A. Green, N. H. Lovell, G. G. Wallace, and L. A. Poole-Warren, "Conducting polymers for neural interfaces: Challenges in developing an effective long-term implant," *Biomaterials*, vol. 29, no. 24–25, pp. 3393–3399, 2008.
- [35] M. L. Scarpello *et al.*, "Design of an implantable slot dipole conformal flexible antenna for biomedical applications," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 10, pp. 3556–3564, 2011.
- [36] C. Hassler, T. Boretius, and T. Stieglitz, "Polymers for neural implants," *J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys.*, vol. 49, no. 1, pp. 18–33, 2011.
- [37] M. F. Maitz, "Applications of synthetic polymers in clinical medicine," *Biosurface and Biotribology*, vol. 1, no. 3, pp. 161–176, 2015.
- [38] I. D. Johnston, M. C. Tracey, J. B. Davis, and C. K. L. Tan, "Micro throttle pump employing displacement ampunction in an elastomeric substrate," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 15, no. 10, pp. 1831–1839, 2005.
- [39] X. Wu, S.-H. Kim, C.-H. Ji, and M. G. Allen, "A solid hydraulically amplified piezoelectric microvalve," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 21, no. 9, p. 95003, 2011.
- [40] M. A. Unger, H. P. Chou, T. Thorsen, A. Scherer, and S. R. Quake, "Monolithic microfabricated valves and pumps by multilayer soft lithography," *Science*, vol. 288, no. 5463, pp. 113–6, 2000.
- [41] K. Hosokawa and R. Maeda, "A pneumatically-actuated three-way microvalve fabricated with polydimethylsiloxane using the membrane transfer technique," *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 10, no. 3, p. 415, 2000.
- [42] D. C. Duffy, J. C. McDonald, O. J. A. Schueller, and G. M. Whitesides, "Rapid prototyping of microfluidic systems in poly(dimethylsiloxane)," *Anal. Chem.*, vol. 70, no. 23, pp. 4974–4984, 1998.
- [43] D. Bozukova, C. Pagnouille, R. Jérôme, and C. Jérôme, "Polymers in modern ophthalmic implants - Historical background and recent advances," *Mater. Sci. Eng. R Reports*, vol. 69, no. 6, pp. 63–83, 2010.
- [44] H. Yu, G. Zhou, S. K. Sinha, F. S. Chau, and S. Wang, "Lens integrated with self-aligned variable aperture using pneumatic actuation method," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 159, no. 1, pp. 105–110, 2010.
- [45] W. Wang and J. Fang, "Variable focusing microlens chip for potential sensing applications," *IEEE Sens. J.*, vol. 7, no. 1, pp. 11–17, 2007.
- [46] W. M. P. F. Bosman *et al.*, "The effect of injectable biocompatible elastomer (PDMS) on the strength of the proximal fixation of endovascular aneurysm repair grafts: An in vitro study," *J. Vasc. Surg.*, vol. 52, no. 1, pp. 152–158, 2010.
- [47] S. J. Kim *et al.*, "Evaluation of the biocompatibility of a coating material for an implantable bladder volume sensor," *Kaohsiung J. Med. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 123–129, 2012.
- [48] R. Carta *et al.*, "Design and implementation of advanced systems in a flexible-stretchable technology for biomedical applications," *Sensors Actuators, A Phys.*, vol. 156, no. 1, pp. 79–87, 2009.
- [49] C. Rodriguez-Régent *et al.*, "Non-invasive diagnosis of intracranial aneurysms," *Diagn. Interv. Imaging*, vol. 95, no. 12, pp. 1163–1174, 2014.
- [50] Z. Li *et al.*, "Global Gene Expression Patterns and Somatic Mutations in Sporadic Intracranial Aneurysms," *World Neurosurg.*, vol. 100, pp. 15–21, 2017.
- [51] S. Sathyan *et al.*, "Association of Versican (VCAN) gene polymorphisms rs251124 and rs2287926 (G428D), with intracranial aneurysm," *Meta Gene*, vol. 2, pp. 651–660, 2014.
- [52] D. A. Vorp, M. L. Raghavan, and M. W. Webster, "Mechanical wall stress in abdominal aortic aneurysm: Influence of diameter and asymmetry," *J. Vasc. Surg.*, vol. 27, no. 4, pp. 632–639, 1998.
- [53] MD.A. Vorp, M.L.Raghavan, S.C.Muluk, M.S. Makaroun, D.L. Steed, R.Shapiro, "Wall strength and stiffness of aneurysmal and nonaneurysmal abdominal aorta" *Ann N Y Acad Sci*, 800(1996), pp.274-276
- [54] E. M. Parsons, M. C. Boyce, D. M. Parks, and M. Weinberg, "Three-dimensional large-strain tensile deformation of neat and calcium carbonate-filled high-density polyethylene," *Polymer*, vol. 46, pp. 2257–2265, 2005.

- [55] E. Parsons, M. C. Boyce, and D. M. Parks, "An experimental investigation of the large-strain tensile behavior of neat and rubber-toughened polycarbonate," *Polymer*, vol. 45, pp. 2665–2684, 2004.
- [56] J. B. Pascual-francisco, L. Israel, E. A. Gallardo-hern, O. Barrag, and O. Susarrey-huerta, "Determination of creep compliance , recovery and Poisson's ratio of elastomers by means of digital image correlation ( DIC )," *Polymer Testing*, vol. 59, pp. 245–252, 2017.
- [57] M. Jerabek, Z. Major, and R. W. Lang, "Strain determination of polymeric materials using digital image correlation," *Polym. Test.*, vol. 29, no. 3, pp. 407–416, 2010.
- [58] F. Morestin and M. Brunet, "Various experimental applications of digital image correlation method" *Proceedings of CMEM 97, Rhodes (Computador methods and experimental measurements VIII)*; 1997, pp. 45-58
- [59] L. C. S. Nunes, "Mechanical characterization of polytetrafluoroethylene polymer using full-field displacement method," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 49, no. 5, pp. 640–646, 2011.
- [60] F. Chen, X. Chen, X. Xie, X. Feng, and L. Yang, "Full- fi eld 3D measurement using multi-camera digital image correlation system," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 51, no. 9, pp. 1044–1052, 2013.
- [61] J. Réthoré, N. Limodin, J. Buffière, and S. Roux, "Three-dimensional analysis of fatigue crack propagation using X-Ray tomography , digital volume correlation and extended finite element simulations," *Procedia IUTAM*, vol. 4, pp. 151–158, 2012.
- [62] Sharpe, W.N. Handbook of Experimental Solid Mechanics, Springer Science and Business Media, LLC New York, 2008.
- [63] J. Ribeiro, L. Hernâni, B. Mendonça, P. Martins, " Determinação do campo de deslocamento de tecidos biológicos hiperelásticos" *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, vol. 16, pp. 37-49, 2012.

# *Análise dos atores que promovem a cultura empreendedora na Região da Costa Verde/RJ - Brasil*

Glauco Tapijara Vallicelli  
Nobrega  
Escola Superior de Tecnologia e  
Gestão de Bragança  
Intituto Politécnico de Bragança  
CEFET/RJ Campus de Angra dos  
Reis  
Bragança, Portugal  
glaucotvn@hotmail.com

Daniel de Cerqueira Lima e  
Penalva Santos  
Núcleo de Inovação Tecnológica  
Intituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de  
Pernambuco-IFPE  
Cabo de Santo Agostinho, Brasil  
daniel.penalva@cabo.ifpe.edu.br

Ronney Arismel Mancebo Boloy  
Grupo de Empreendedorismo,  
Energia, Meio Ambiente e  
Tecnologia (GEEMAT)  
CEFET/RJ Campus Angra dos Reis  
Angra dos Reis, Brasil  
ronney.boloy@cefet-rj.br

**Abstract**— The main objective of this research is to identify and analyze the idealizers of the entrepreneurial culture in the Region of Costa Verde / RJ - Brazil, with a view to the formation of networks to promote entrepreneurship. In the ambit of entrepreneurship, it was sought to identify the organizations and strategic subjects in the formation of a local entrepreneurial culture, as well as to analyze the main promoter and repressor aspects of entrepreneurship and the degree of articulation between them. This research was of qualitative approach and the methods used sought to obtain data that allowed subjective analyzes to be carried out on the local entrepreneurial culture. An exploratory study was carried out based on a bibliographical and documentary research. The result of this research shows that there is still a great lack of investments around entrepreneurship mainly by the public sector. It is also noted the importance of SEBRAE in the matter, since practically all the institutions linked to the theme have a partnership with SEBRAE. It is also noted the existence of a gap left by educational institutions that have been filled by the branches of institutions that have been installed in the region in recent years. These results can be sources of information in the formulation of public policies to promote entrepreneurship, as well as contribute to the formation of strategic networks to foster the local entrepreneurial culture.

**Keywords**—*Entrepreneurship; Entrepreneurial culture; Network.*

## I. INTRODUÇÃO

A definição de “Empreendedorismo” não costuma ser simplória, diferentes autores criam definições ou adequam as suas definições a definições já existentes, não necessariamente opostas entre si, mas com divergências em determinados pontos. Schumpeter [1], defende que o sistema econômico uma vez funcionando, permanece inerte e sem mudanças em sua estrutura geral com a repetição de um ciclo. Sendo que o ciclo só é quebrado pelo empreendedor quando o mesmo introduz uma mudança no mercado, alterando inclusive as características dos consumidores.

Ou seja, ao inovar o empreendedor não somente introduz um produto ou técnica, mas também destrói o ciclo econômico convencional e cria um novo. Com o tempo, a inovação deixa de ser uma novidade e é abrangida pelo ciclo econômico convencional [1].

Segundo Góes *et al* [2], em uma visão do empreendedorismo voltado ao mercado, o empreendedorismo se baseia na possibilidade de lucro ao se encontrar algo inédito.

Este “alerta empresarial” citado, corresponde à observação do mercado e do comportamento da sociedade em busca de oportunidades ainda não exploradas. Quando encontradas, essas oportunidades geram inicialmente grande parcela de lucro, que vai caindo conforme a concorrência avança. A partir do momento em que se deixa de ter a exclusividade na oferta de um produto ou serviço, torna-se fundamental também um grande conhecimento administrativo a fim de se garantir a sobrevivência da empresa quando o ciclo econômico volta a se estabilizar e, após estes acontecimentos, o empresário deixa de ser um empreendedor.

A partir da década de 1980, o empreendedorismo ganha um novo sentido, o empreendedor deixou de ser o grande empresário, dono de verdadeiros impérios, e se inicia a apologia do auto emprego, onde prevalece a criação de novos e pequenos negócios e em que o proprietário é o próprio empreendedor. Neste contexto, é fundamental um incentivo governamental, através de políticas públicas que incentivem a capacitação [3], tendo em vista que o empreendedorismo pode ser um mecanismo que promove a criação de empregos, empresas, inovando a economia gerando desenvolvimento e a criação de riquezas [2], [4].

A mudança que ocorreu a partir da década de 1980 contribuiu para uma maior variação de oferta de produtos e serviços, além de melhorar a distribuição de renda e através da organização de micro e pequenos empresários. A partir disto, tornou-se viável o pressionamento do poder público por organizações formadas por pequenos e médios empresários,

como associações e cooperativas, em contraponto aos lobbies individuais de grandes empresas.

Análoga à definição de empreendedorismo, a definição de empreendedor também é alvo de grande discussão, autores como Say (*apud* Góes *et al*) diz que “As características desejáveis a um bom empresário, agente ou ‘mestre-agente’, deveriam ser a capacidade de planejar, avaliar projetos e poder correr riscos.” [2].

Quanto as qualidades morais, Say (*apud* Góes *et al*) destaca: julgamento, perseverança, bom senso, conhecimento de mundo, bem como conhecedor ou expertise de negócios. Marshal (*apud* Góes *et al*) complementa ao dizer que “o empresário deveria ter um profundo conhecimento da indústria e, em função disso, deveriam ser os líderes naturais.” [2].

Conforme o entendimento de Thompson (*apud* Góes *et al*), a sabedoria convencional diz que muitos empreendedores sobrevivem e prosperam sem qualquer tipo de treinamento formal administrativo [2].

Thompson (*apud* Góes *et al*) também afirma que os empreendedores são aguçados para alcançar objetivos, são positivos e seu estilo é pragmático. Eles desfrutam independência e correm riscos calculados. São enérgicos, determinados e autoconfiantes. Os empreendedores podem inspirar outros e eles aprendem com suas experiências [2].

As características que cada empreendedor tem imensa relevância, sendo tão determinante para o sucesso das empreitadas como a própria ideia em si [3].

Caetano *et al* [3] enumera as principais características individuais do empreendedor, sendo elas: necessidade de independência; capacidade para inovar; necessidade de realização; autoconfiança; locus de controle interno; proatividade e automotivação; capacidade para viver com o risco e a incerteza e ser um visionário.

O chamado capital social, que são os recursos obtidos através da organização e colaboração entre empreendedores de determinada área econômica e/ou região, também ganhou grande importância durante a década de 1980 [3].

Ações de empreendedorismo coletivo, caso do capital social, junto a um perfil empreendedor geram a chamada “Cultura Empreendedora”.

Em face as informações acima e em um mundo de constantes mudanças e alterações, em que a economia, principalmente devido as mudanças criadas pela internet, se diversifica e se reinventa em curtos períodos de tempo, torna-se cada vez mais importante a figura do empreendedor para liderar tal processo.

Desta forma, é de se esperar que a maioria das grandes economias do mundo invistam cada vez mais na formação de empreendedores em diversas áreas e torna-se uma tendência cada vez maior passar este conhecimento aos jovens cada vez mais cedo, recebendo, por exemplo, atenção especial do Ministério da Educação-MEC em um de seus principais programas de capacitação destinado a estudantes de nível técnico [5].

O ambiente em torno do empreendedor tem uma grande influência sobre o mesmo. Para Caetano *et al* [3] o empreendedor é quem reconhece oportunidades e para que estas oportunidades surjam, são necessárias mudanças tecnológicas, sócio demográficas, políticas/legais e mudanças de mercado.

Neste contexto é importante que exista uma cultura empreendedora, que envolva mais de uma característica empreendedora e propicie que novas realizações possam ser pensadas e, principalmente, realizadas. Para Schmitd e Dreher [6] a “Cultura Empreendedora” como a concentração de duas ou mais formas de empreendedorismo, como o empreendedor em si e ações coletivas de empreendedorismo.

A formação da “Cultura Empreendedora” pode partir dos próprios empreendedores ou a partir de terceiros -Estado, organizações da sociedade civil, instituições de ensino e pesquisa - ou os dois, podendo os mesmos agirem a fim de despertar o espírito empreendedor em uma determinada população ou grupo ou ainda incentivar e dar consultoria a quem já deu o primeiro passo. No caso do intraempreendedorismo a ideia de fomentar esta cultura em geral parte do próprio responsável pela organização ou dos trabalhadores da organização [7].

As associações comerciais e as cooperativas são bons exemplos de como a auto-organização de empreendedores pode fazer com que todos os seus membros tenham benefícios e possam aprimorar os seus empreendimentos [8]. Além da possibilidade dessas próprias entidades se organizarem e oferecerem capacitação para, principalmente, seus membros, elas assumem um papel de legitimidade para realizar cobranças ao poder público ou mesmo para contratar serviços e/ou mercadorias para benefício de seus membros.

O Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE é uma entidade privada presente em todos os estados brasileiros, e tem como objetivo o fortalecimento do empreendedorismo e a formalização da economia [9].

Associações, empresas sociais e fundações podem ser também instituições que buscam fomentar o empreendedorismo, voltadas para questões sociais, que por consequência pode ou não gerar lucros [10].

O Estado tem um papel fundamental no fomento à “Cultura Empreendedora”, uma vez que pode trazer benefícios na sociedade de uma forma geral [7].

As instituições de ensino superior também podem e devem, principalmente as públicas, colaborar neste fomento. Além do ensino tradicional, estas instituições podem realizar projetos de pesquisa para entender os anseios e necessidades de cada local como também projetos de extensão como incubadoras de empresas e empresas juniores ou mesmo parcerias para criação de parques tecnológicos [11].

Sendo assim, essa pesquisa buscou entender os atores que fomentam a “Cultura Empreendedora” na região, o seu grau de inclusão e a ligação entre eles. Inicialmente será avaliada a região da Costa Verde como um todo, sendo apresentados detalhes dos municípios em separado em seguida.



Realizada ao longo dos anos de 2015 e 2016 como projeto de Iniciação Científica vinculado ao Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, esta pesquisa foi de abordagem qualitativa e os métodos utilizados buscaram obter dados que permitissem realizar análises subjetivas sobre a cultura empreendedora local. Um estudo exploratório foi realizado com base em pesquisa bibliográfica e documental, além da observação direta por parte dos autores.

## II. ANÁLISE DA SITUAÇÃO SOCIECONÔMICA DA COSTA VERDE

### A. Costa Verde

A região administrativa da Costa Verde está localizada no sul do Estado do Rio de Janeiro e é formada pelos municípios de Angra dos Reis, Mangaratiba e Paraty. A região é reconhecida por apresentar uma grande faixa de litoral com Mata Atlântica, sendo uma região com baixa densidade populacional, atividades em geral voltadas para o turismo com uma entrada tardia de indústria.

Apenas 2,2% das empresas da região da Costa Verde são consideradas médias ou grandes, segundo a avaliação do SEBRAE [12]. Sua grande maioria é composta por microempresas, que faturam até 360 mil reais anualmente, cotando com 82,5% do número de empresas total. Este dado não sofre grandes alterações quando comparado aos de cada município da região ou mesmo quando comparado com a média do Estado do Rio de Janeiro.

Segundo dados do SEBRAE [12], o Valor Adicionado Bruto, que é a demonstração da riqueza criada, na região da Costa Verde, está dividido em 65% em Serviços e Comércio sendo grande parte desses voltados exatamente para o turismo. Cerca de 23% do Valor Adicionado Bruto está em indústrias, principalmente a Eletronuclear, que administra a Central Nuclear, o estaleiro da Brasfels e o terminal aquaviário da Transpetro. A administração pública também tem uma participação importante contando com 11% do valor e a agropecuária aparece com menos de 1% em agropecuária.

Ainda segundo o SEBRAE [12], 68,8% dos empresários na região tem empregados, sendo que a maioria está no setor de serviços e o setor que pratica os melhores salários é o setor da Indústria e esta conta com 12.244 trabalhadores. O setor com mais empregados, porém, é o de serviços, contando com 22.609 empregados. Este dado pode servir como um termômetro quanto ao sucesso dos empreendimentos na região e as vantagens que estes trazem para a economia local. No total são 62.225 empregos formais, sendo que destes, 11.886 são cargos da administração pública. Os demais cargos são ocupados em outras áreas.

Houve aumento de sua participação no Produto Interno Bruto-PIB do Estado do Rio de Janeiro específico no setor industrial, embora tenha ocorrido uma queda em 2008. O aumento da participação no PIB estadual da indústria indica que a região tem apresentado um crescimento absoluto acima da média das outras regiões, podendo ser consequência do bom momento da economia, principalmente o petróleo que está

diretamente ligado ao estaleiro e a Transpetro. Com a crise de 2008 o ritmo desacelerou [12].

Outra atividade que merece grande destaque na região é a extração e a pesca. Com forte presença nos três municípios, a pesca figurava como principal ou uma das principais fontes de renda em todos eles. Apenas após a abertura da Rodovia Rio-Santos, que faz parte da BR-101, sua forte influência na economia local deu lugar ao turismo, porém a atividade ainda tem grande importância na economia e mesmo na cultura local [13].

### B. Angra dos Reis

O Município de Angra dos Reis tem atualmente uma área de 825,082 Km<sup>2</sup>, uma população em 2010 de 169.511 habitantes, dando uma média de 205,44 pessoas por Km<sup>2</sup>. É o município mais rico da Costa Verde, fazendo divisa com Paraty, Mangaratiba, Rio Claro, Bananal-SP e São José do Barreiro [14].

Angra dos Reis foi descoberta em 1502 por Gonçalves Coelho, e colonizada definitivamente por imigrantes portugueses a partir de 1593, embora já existissem comunidades indígenas no município [15].

Durante o século XVIII a base da economia foi o plantio da cana-de-açúcar, juntamente com serviços portuários e de pesca, muito graças as características físicas locais [15].

No século XX, o município ampliou suas ligações com territórios vizinhos através do trecho rodoviário ligando a cidade a antiga Rodovia Rio-São Paulo, além da instalação do estaleiro da Verolme, da Usina Nuclear, do terminal marítimo da Petrobras e a construção da Rodovia Rio-Santos [15].

Embora estes grandes projetos de investimentos possam parecer benéficos para a população local, segundo Villela [16] as regiões que recebem grandes projetos sofrem uma desestruturação de suas atividades econômicas existentes, além de crescimento desordenado e degradação ambiental, como pode ser visto em muitos pontos da cidade.

Apesar dos problemas com os grandes projetos, é inegável que a abertura da Rodovia Rio-Santos possibilitou que principalmente o setor de turismo se desenvolvesse na cidade e possibilitou a entrada e saída de outros produtos.

Hoje, além dos grandes empreendimentos do século XX, o município tem na atividade turística, que aproveitam principalmente a beleza das diversas ilhas localizadas no município [15].

A pesca ainda representa parte significativa da economia do município, embora tenha perdido muita força nos anos 1970 com o fechamento da fábrica de sardinhas, a pressão externa contra a pesca industrial, além da expulsão dos caíçaras (termo que designa os nativos de determinadas faixas do litoral brasileiro) produzida pela especulação imobiliária dificultando a pesca artesanal e a criação de unidades de conservação [17].

A economia do município tem grande relevância para a região da Costa Verde, com um Produto Interno Bruto de R\$ 10.473.424.000 em 2012, sendo que o PIB per capita é de 61.961,39 reais. O município mantém também 3.913 empresas

atuantes e o salário médio mensal é de 3,7 salários mínimos [11]. Na região o município também conta com a grande maioria dos números de empregos formais e estabelecimentos e consequentemente a maior parte das admissões e desligamentos [15].

Houve um decréscimo nos investimentos realizados no município a partir de 2011, sendo este dado uma consequência da crise econômica que atingiu todo o país na mesma época. Entre 2013 e 2014 o índice voltou a subir, porém este é um prazo curto para se avaliar se o crescimento é uma tendência ou mesmo se atingirá novamente os valores alcançados em 2011 [13].

Entre os atores que fomentam o empreendedorismo na região pode-se citar a ACEAR - Associação Comercial Empresarial de Angra dos Reis que oferece cursos de aperfeiçoamento, eventos técnicos, intercâmbio de experiências congressos entre outros além de fazer diversas parcerias com o SEBRAE local. [18]

Além da ACEAR, cabe ressaltar também associações menores de pescadores, produtores rurais e barqueiros, geralmente com a atuação restrita aos bairros aos quais estão localizadas.

A prefeitura também tem atuação de destaque quando se trata de fomento ao empreendedorismo. Em parceria com o SEBRAE foram criadas as chamadas “Sala do Empreendedor” onde é prestado atendimento de crédito ao microempreendedor individual. Pode-se citar também o incentivo à produção agrícola e artesanal além de diversos cursos oferecidos em parceria com SEBRAE, SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, SENAC – Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, universidades e empresas localizadas no município. [19].

#### *C. Mangaratiba*

O Município de Mangaratiba tem atualmente uma área de 356,408 Km<sup>2</sup>, uma população em 2010 de 36.456 habitantes, dando uma média de 102,207 pessoas por Km<sup>2</sup>, faz divisa com Angra dos Reis, Rio Claro e Itaguaí [14].

A exploração do município teve início em 1534 e enfrentou forte resistência dos índios tamoios, que por décadas se protegeram saqueando e atacando as residências dos invasores. Já no início do século XVII foram trazidos índios já catequizados a fim de amenizar os confrontos e abrir assim as portas para a exploração do homem branco [20].

A independência administrativa veio em 1831, com o município sendo denominado de Nossa Senhora da Guia de Mangaratiba. Antes da independência o local pertencia inicialmente ao município de Itaguaí, passando para Angra dos Reis até finalmente conseguir sua independência [20].

Assim como os demais municípios da Costa Verde, Mangaratiba também serviu de porto de escoamento para o café do Vale do Paraíba, chegando a escoar mais de um terço de toda a produção de café do país [20]. A estrada de ferro ligando o município ao vale do paraíba, devido as altas taxas de pedágio cobrados pelo seu uso, aliada a dificuldades de circulação entre pessoas entre Mangaratiba e os municípios

vizinhos acabou destruindo a atividade comercial no município. O pior momento se deu com o fim da escravidão que praticamente encerrou a agricultura local, que chegou a declarar total falência em duas ocasiões em menos de 30 anos [20].

Em 1910 foi instalada a estrada de ferro ligando a Santa Cruz, bairro da cidade do Rio de Janeiro. Neste período o município voltou a crescer graças a produção de lenha, carvão e bananas que eram escoadas pelo trem [21]. Mas foi só em 1914 com a ligação da estrada de ferro a Central do Brasil que o município voltou a se desenvolver [20].

A produção de banana em grande escala no município ocorreu no início do século XX (e tem tamanha importância na economia do município que o Brasão do município tem folhas de bananeiras) e alcançou seu apogeu entre 1950 e 1970 [21].

A pesca é a cultura mais antiga do município, tornando-se uma das maiores produtoras de pescado do Rio de Janeiro na primeira metade do século XX, a ponto de ser criada a Escola Técnica de Pesca na cidade [21].

A instalação da rodovia Rio-Santos causou fenômeno semelhante ao ocorrido em Angra dos Reis, trazendo grandes empreendimentos imobiliários e hoteleiros voltados principalmente ao turismo, que atualmente é a principal atividade econômica do município [20].

Embora a rodovia Rio-Santos tenha criado uma conexão terrestre entre os distritos de Mangaratiba as cidades vizinhas, trouxe também uma grande explosão demográfica alinhada a uma descaracterização de suas vilas balneárias a fim de atender a demanda dos turistas [21].

A partir de 1982 com a construção do Porto de Itaguaí, percebeu-se uma drástica diminuição das atividades pesqueiras na região, além de diminuir o turismo nas ilhas próximas [21].

Os indicadores de investimento no município demonstram que apesar da leve retomada em 2013, os índices voltaram a descer em 2014, demonstrando grande incerteza em relação ao futuro dos investimentos no município [tce]. O município conta com um PIB - Produto Interno Bruto de R\$ 1.288.086.00 em 2012, sendo que o PIB per capita é de 33.718,65 reais. O município mantém também 721 empresas atuantes e o salário médio mensal é de 3,3 salários mínimos [14].

Mangaratiba conta com algumas associações que merecem destaque, como a Associação Comercial, Industrial e Agropastoril do Município de Mangaratiba, a Associação dos Pescadores de Mangaratiba, Associação dos Barqueiros de Itacuruçá, Associação do Maricultores de Mangaratiba entre outros. A diversidade de associações pode ser um ponto importante, já que cada setor apresenta demandas diferentes, mas cabe ressaltar que uma descentralização muito grande entre os setores acaba tirando força política e financeira de cada setor, sendo interessante a criação de uma organização que defenda as demandas em comum.

A prefeitura de Mangaratiba investiu no fomento ao empreendedorismo, em 2006, através da Secretaria de Industria, Comércio e Tecnologia da Informação e foi cedida uma área para que o SEBRAE pudesse ter uma sede no município [22].

#### D. Paraty

O Município de Paraty tem atualmente uma área de 925,32 Km<sup>2</sup>, uma população em 2010 de 37.533 habitantes, dando uma média de 40,57 pessoas por Km<sup>2</sup>. Tem o o menor IDH da região, 0,693, um valor que é considerado médio. É também o mais ao sul da Costa Verde e faz divisa com os municípios de Ubatuba-SP, Cunha-SP e Angra dos Reis-RJ [14].

A primeira grande fase econômica do município foi durante o Ciclo do Ouro quando o município chegou a ter o segundo maior porto do país. Com a ascensão do café, o município se manteve como grande escoador de café oriundo do Vale do Paraíba e derivados de cana, principalmente a cachaça, causando grande desenvolvimento na economia local [23].

A abertura do Caminho Novo, que substituiu a rota do Caminho do Ouro em 1725, tirou Paraty da rota de escoamento, causando grande impacto negativo a economia. Mais tarde, em 1870, com a abertura de uma ferrovia ligando São Paulo ao Rio de Janeiro a cidade perdeu ainda mais importância. Porém foi a Abolição da Escravatura, em 1888, resultou no completo colapso, causando uma grande emigração da população [23].

Entre 1978 e 1985, com a construção da rodovia, que liga a cidade do Rio de Janeiro a de Santos-SP, o município foi tirado do isolamento e um novo setor ganhou força para concorrer com a agricultura e pesca como principal fonte de renda do município, o turismo [23].

O turismo consegue prosperar em Paraty graças ao seu Centro Histórico bem conservado, do próprio Caminho do ouro e as belezas naturais da região que conta com belas praias, ilhas, cachoeiras e uma imensa área verde de Mata Atlântica preservada, podendo tal preservação ser destacada como um aspecto positivo do isolamento que durou praticamente um século. O turismo cultural também se faz presente, graças a rica história da cidade muito bem preservada e a realização da Festa Literária Internacional de Paraty – FLIP.

Essa nova possibilidade de mercado trouxe ao município empreendedores de diversos ramos da atividade turística, transformando a cidade em um produto turístico [22]. Podendo-se observar que cidade contém muitos estabelecimentos hoteleiros e similares e agências de viagem. No centro da cidade se observa muitas lojas de *souvenirs* e outras destinadas a produtos que remetem a cidade, tanto artesanatos como produtos produzidos em série, além de restaurantes [23].

Os novos empreendedores transformaram a cidade em objeto turístico e culminou na marginalização de grande parte da população local que não conseguiu sobressair frente ao forte poder econômico e conhecimento administrativo dos empreendedores de fora da região. O aumento do valor dos imóveis, combinado ao alto custo do comércio expulsou a população local para áreas afastadas. O turismo acabou se tornando a principal fonte de renda e principal ameaça a população local [24].

Dadas as pequenas proporções do município, não é surpresa que exista um baixo número de empresas de grande porte, apesar de existirem micro indústrias, sendo mais notáveis os

alambiques de cachaça, porém nenhuma delas consegue alcançar o status de “pequena empresa”, ou seja, nenhuma das empresas tem faturamento anual superior a 3.600 mil reais anuais. O serviço e o comércio têm a grande maioria dos estabelecimentos registrados [25].

A agropecuária vem perdendo espaço no município. Os cultivos que existem são escassos e dificilmente são regularizados, já que as próprias residências na zona rural carecem de regulamentação e a implantação de uma política de regularização é recente [25].

O município segue a tendência de toda a Costa Verde, apresentando forte alta nos investimentos até 2010 e uma brusca queda nos anos seguintes, tendo um futuro incerto pela frente [25], tendo um PIB de 1.981.523 mil reais (2012), sendo que o PIB per capita é de 51.149,27 reais. O município mantém também 1.134 empresas atuantes e o salário médio mensal é de 2,2 salários mínimos [14].

Das associações presentes em Paraty podem-se destacar a ACIP - Associação Comercial e Industrial de Paraty e a APACAP - Associação dos Produtores e Amigos da Cachaça de Paraty. A ACIP organiza a prestação de serviços coletivos para seus associados a fim de reduzir os preços e oferece informações sobre selos de qualidade entre outros. Já a APACAP destaca-se pela sua forte rede que conta com a Universidade Federal do Rio de Janeiro, O SEBRAE, O Instituto Nacional da Propriedade Industrial, Ministério da Agricultura e a Universidade Rural do Rio de Janeiro. A amplitude organização e rede da APACAP faz com que não seja surpresa o fato da Cachaça de Paraty ser um produto nacionalmente reconhecido, tendo inclusive o registro de indicação geográfica registrada no INPI, o que traz um diferencial em relação as outras cachaças produzidas, garantindo a qualidade e procedência do produto.

Destaca-se ainda a Associação de Barqueiros de Trindade e a Associação de Moradores de Trindade - AMOT que além de grande força política, tem grande responsabilidade sobre o sucesso do turismo no local sendo comandada em geral pela própria população local, em contraste com o que o ocorre em praticamente toda a Costa Verde.

Entre as organizações que fomentam a “Cultura Empreendedora” pode-se destacar a Associação Cairuçu que tem um programa de tecnologia e inovação, buscando desenvolver a formação de crianças e jovens dos locais atendidos.

### III. CONCLUSÕES

Com base nas informações expostas nos capítulos anteriores, pode-se chegar a algumas conclusões acerca da “Cultura Empreendedora” na região da Costa Verde/RJ:

O principal foco do empreendedor local está nos turistas, o que não surpreende, uma vez que esta é uma das principais fontes dos três municípios. A abertura da Rio-Santos substituiu a indústria extrativista pela indústria de serviços voltada ao turismo. Apesar de ser natural que ocorra, esta concentração

em um único ramo está longe de ser saudável, pois o declínio de um setor pode significar um colapso na economia local.

Outro ponto interessante de se ressaltar é que, em sua grande maioria, os empreendedores são de outra região, fora da Costa Verde. Isso muito provavelmente é reflexo da baixa qualidade da educação da região e da baixa visibilidade ao tema dado pelo setor público, uma vez que, com exceção a Angra dos Reis, os sites das prefeituras dos outros dois municípios sequer contam com uma área reservada ao tema, por exemplo. Como ponto positivo, pode-se destacar o imenso potencial ainda não explorado e descoberto da população local em relação a estes aspectos, a chegada de novos centros de educação como o CEFET/RJ e o CEDERJ – Centro de Educação a Distância do Estado do Rio de Janeiro, pode ser explorada a fim de iniciar uma cultura empreendedora no município.

O SEBRAE mostra-se como ator determinante no desenvolvimento do empreendedorismo local, onde se observa que praticamente toda organização (pública ou privada) com foco no empreendedorismo tem uma forte ligação com o SEBRAE, mostrando assim sua importância em uma região com grande número de micro e pequenas empresas.

Os grandes investimentos aumentaram consideravelmente o PIB da região, movimentando a economia e aumentando a arrecadação dos municípios. Entretanto o engessamento da economia local pelos grandes projetos de investimento como as Usinas Nucleares, a Transpetro e o estaleiro da Brasfels (todos em Angra dos Reis) têm grande reflexo, causando um vício na população local em ter como objetivo quase que exclusivo de sucesso profissional e pessoal trabalhar nestes locais.

Por fim, pode-se notar que Angra dos Reis tem um maior apoio governamental na fomentação e nas redes de empreendedorismo enquanto Paraty se destaca pelas associações privadas e Mangaratiba parece ter pouca força em tanto na esfera governamental como privada. Em toda a região se observa uma grande lacuna promovida pela falta de uma grande instituição que possa dar formação e a possibilidade de se desenvolver novas ideias além de uma articulação entre todas essas redes. Projetos como a incubadora de empresas, empresa júnior e Enactus que já foram implementados com sucesso em diversas instituições pelo Brasil podem contribuir de forma significativa na formação da “Cultura Empreendedora”.

## REFERÊNCIAS

- [1] A. J. Schumpeter, “Teoria do desenvolvimento econômico,” Fundo de Cultura, 1961.
- [2] A. O. S. Góes, T. V. Brugni, A. X. Beiruth, e C. R. F. F. Guimarães, “Práticas empresariais globais e locais do outro lado do Atlântico-Brasil: uma análise das entidades de fomento ao empreendedorismo In: Fifth Global Management Conference on. 2013. p. 303. Albagli, S., & Maciel, M. L. . Capital social e empreendedorismo local. Proposição de. 2002
- [3] A. Caetano, S. C. Santos, e S. F. Costa, “Psicologia do empreendedorismo: processos, oportunidades e competências,” Mundos Sociais. 2012
- [4] J. N. Alves e B. A. D. Pereira, “O Estudo da Cultura Empreendedora: As Características Empreendedoras e Valores Dos Empresários e

- Colaboradores da Incubadora Tecnológica De Santa Maria.” Qualitas Revista Eletrônica, vol. 14, no.2, 2013.
- [5] ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL DO MEC (Brasil), “Ministério lança programa para incentivar o empreendedorismo,” Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/content/article?id=18739:ministerio-lanca-programa-para-incentivar-o-empreendedorismo>. Acesso em: 13/04/2016
- [6] C. M. Schmidt, M. T. Dreher, “Cultura Empreendedora,” REGE. Revista de Gestão, v. 15, n. 1, p. 1, 2008.
- [7] M. A. S. Gomes e F. E. C. Pereira, “Hélice Tríplice: Um ensaio teórico sobre a relação Universidade-Empresa-Governo em busca da inovação,” International Journal of Knowledge Engineering and Management (IJKEM), vol. 4, no. 8, 2015, p. 136-155.
- [8] L. C. Zucatto, e T. N. Da Silva, “Empreendedorismo cooperativo e cooperativismo de eletrificação rural: o caso CRELUZ,” Otra Economía, vol. 10, no. 18, 2016, p. 51-63.
- [9] SEBRAE, “Quem somos,” Disponível em: [http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/canalais\\_adicionais/conhec\\_a\\_quemsomos](http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/canalais_adicionais/conhec_a_quemsomos). Acesso em: 25/09/2016.
- [10] E. M. Oliveira, “Empreendedorismo social no Brasil: atual configuração, perspectiva e desafios – notas introdutórias,” Revista Fae, vol. 7, no. 2, 2016.
- [11] L. C. Gomes, J. M. de Oliveira, and P. C. Júnior, “Universidade Empreendedora: Um Estudo de Casos Múltiplos com Três Universidades no Estado do Rio Grande do Sul,” Revista de Administração e Contabilidade da FAT, vol. 5, no.3, 2014, pp. 43-58.
- [12] PLANO REGIONAL, “Costa Verde. Rio de Janeiro,” SEBRAE, 2012.
- [13] ESTUDO SOCIOECONÔMICO DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO RJ, “Comparativo dos Municípios Fluminenses. Rio de Janeiro: Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro”, TCE-RJ, 2010.
- [14] CENSO, I. B. G. E Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Consultado em, v. 12, 2010.
- [15] SECRETARIA-GERAL DE PLANEJAMENTO (Rio de Janeiro). TCE-RJ, “Estudo Socioeconômico dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro: Angra dos Reis. Rio De Janeiro,” TCE-RJ, 2015. p. 1-129.
- [16] L. E. Villela, C. A. M. Guedes, J. S. Santana, E. B. D. R. de Brito “Crescimento Econômico versus Gestão Social e Desenvolvimento Territorial Sustentável-Análise dos Impactos de Megaempreendimentos nos Municípios de Macaé-RJ e de Itaguaí-RJ,” Desenvolvimento em Questão, vol. 10, no. 21, p. 119-145, 2012.
- [17] R. M. Prado, “Tensão no paraíso: aspectos da intensificação do turismo na Ilha Grande,” Caderno Virtual de Turismo, vol 3, no. 1, 2006.
- [18] TURISANGRA. “Associação comercial empresarial de angra dos reis,” Disponível em: <http://visiteangradosreis.com.br/associacao-comercial-empresarial-de-angra-dos-reis-acear/44-710>. Acesso em: 26/09/2016
- [19] PREFEITURA DE ANGRA DOS REIS. Secretaria Municipal de Atividades Econômicas. 2016. Disponível em: [http://www.angra.rj.gov.br/secretaria\\_inicial.asp?IndexSigla=SAE#V-ibZSgrLIV](http://www.angra.rj.gov.br/secretaria_inicial.asp?IndexSigla=SAE#V-ibZSgrLIV). Acesso em: 26/09/16
- [20] M. Bondim, E. Bedê, “Resumo da História Social e Econômica de Mangaratiba,” Mangaratiba-RJ, 2015. p. 63.
- [21] SECRETARIA-GERAL DE PLANEJAMENTO (Rio de Janeiro). TCE-RJ, “Estudo Socioeconômico dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro: Mangaratiba,” p. 1-131, TCE-RJ, 2015.
- [22] P. Melle, “prefeitura de mangaratiba e sebrae lançam nova unidade de atendimento em itacuruçá,” Disponível em <http://pedrolemelle.blogspot.pt/2010/04/prefeitura-de-mangaratiba-e-sebrae.html>. Acesso em 2017
- [23] A. C. Oliveira, “Turismo e população dos destinos turísticos: um estudo de caso do desenvolvimento e planejamento turístico na Vila de Trindade-Paraty/RJ,” Caderno Virtual de Turismo, vol. 4, no. 4, 2006.
- [24] SEBRAE-RJ, “Informações Socioeconômicas do Município de Paraty,” SEBRAE-Rj, p. 19, 2008.
- [25] SECRETARIA-GERAL DE PLANEJAMENTO (Rio de Janeiro). TCE-RJ, “Estudo Socioeconômico dos Municípios do Estado do Rio de Janeiro: Paraty,” TCE-RJ, p. 129, 2015.

# Energy certification proposal, using dynamic simulation, as an energy management tool ISO 50001 Versus energy audit in buildings.

Francisco Javier Rey. Author, *Dept. of Energy and Fluidmec., EII, University of Valladolid, rey@eii.uva.es*, Alberto Rey. Author *EII, University of Valladolid*. Eloy Velasco. Author, *Dept. of Energy and Fluidmec., EII, University of Valladolid*. Julio San José. Author, *Dept. of Energy and Fluidmec., EII, University of Valladolid* and Javier M. Rey. Author, *EII, University of Valladolid*.

**Abstract—** The objective of this study is the ISO 50001 energy management, using energy audits as management system tools and comparing their results with those from energy certification through dynamic simulation, applied to a standard university building.

The methodology used to achieve savings and energy efficiency results, applied to a university building, can be used as a model for extrapolating to university buildings. The methodology used have the following scheme:

- Selection of the building, location, characteristics of the building and inventory of building materials, equipment and systems.
- Energy certification, using a software program recognized by the government of Spain called HULC unified tool LIDER-CALENER GT. Energy Audit
- Analysis of results and conclusions.

This study demonstrates that, through the results obtained in a university building with dynamic simulation software such as the LIDER-CALENER GT, about energy certification, compulsory according to national laws, can be considered as a substitute for the basic energy audit tool to implement A SGen like ISO 50001. This will allow us to obtain the same results and will mean a significant economic reduction.

**Keywords—** Energy management system, energy audits, dynamic simulation, energy certification tools CALENER GT-LIDER.

## I. INTRODUCCION

El consumo final de energía de los edificios en la UE se sitúa actualmente en torno al 40%, siendo los edificios divididos en sectores residenciales y terciarios. El sector terciario, también denominado edificios comerciales o no residenciales y objeto de estudio, comprende varios tipos de edificios (oficinas, hoteles, hospitales, museos, edificios universitarios ...) que se utilizan para diversos fines y Emplean una gama de servicios energéticos (aire acondicionado, calefacción, ventilación, ACS, iluminación, etc. En España, el consumo final de energía para edificios en el sector terciario es de casi el 30%.

Por lo tanto, el sector de la construcción es un área importante en la que centrar las políticas energéticas, como las medidas promovidas por los países de la UE para alcanzar los objetivos establecidos en el horizonte 20-20-20, 2020.

En el sector de la construcción, la UE ha adoptado una directiva importante en 2010 como la Directiva sobre el rendimiento energético de los edificios (EPBD) refundida.

Paralelamente, los Sistemas de Gestión de la Energía (EMS) [4] aplicaron a los edificios que adquirieron un gran desarrollo debido a los altos ahorros energéticos ya la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Un EMS el conjunto de elementos que interactúan entre sí para establecer la política energética, los objetivos energéticos,

los procesos y los dispositivos necesarios para alcanzar los objetivos, según la Norma UNE-EN- ISO50001: 2011

La Norma ISO 50001 está basada en el ciclo de Deming PDCA (Plan, Do, Check, Act). Figura 1.

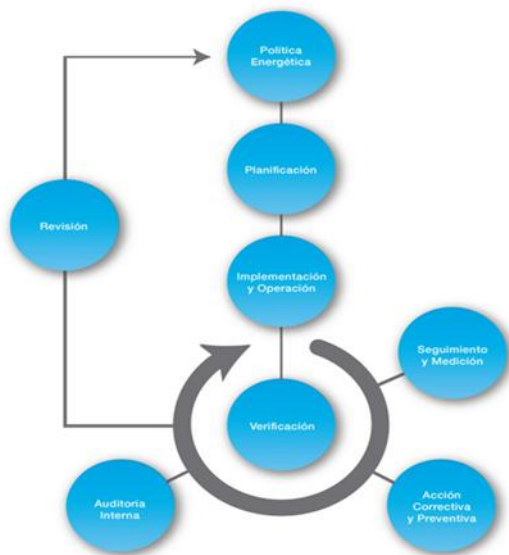


Fig. 1. Sistema de Gestión Energética. Fuente: AENOR

Una de las herramientas más importante que utiliza la ISO 50001 en su etapa de planificación es la revisión energética o auditoría energética.

- Analiza el uso y consumo de energía mediante mediciones.
- Identificar las áreas de uso de energía.
- Identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar la tarea energética.

La auditoría energética es un proceso sistemático en el que se obtiene un conocimiento del consumo energético para detectar los factores que afectan al consumo, identificar y evaluar el ahorro energético en función de su rentabilidad económica. En 2014 se publica la Norma ISO 50002: 2014 Auditorías energéticas.

Según la directiva europea EPBD 2010, la certificación energética es obligatoria en todos los países que componen la UE. La certificación energética de edificios es la descripción de las características energéticas, que la información a los usuarios sobre la eficiencia energética del edificio [1].

En España la certificación energética de edificios mediante el método general LIDER-CALENER, considera el consumo de energía necesaria para satisfacer anualmente la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación. La certificación energética se expresa con una etiqueta energética, mediante letras

La calificación energética se expresa a través de varios indicadores que permiten explicar el buen comportamiento energético del edificio y proporcionar información útil sobre los resultados.

Estos indicadores, en base anual, se refieren a la unidad de superficie útil del edificio, y determinan la energía final consumida por el edificio.

El indicador energético principal o global será el correspondiente a las emisiones anuales de CO<sub>2</sub>, expresadas en kg/m<sup>2</sup> de superficie útil del edificio.

En España el procedimiento general de la certificación energética para los edificios, se realiza a través de un programa de software de simulación dinámica llamada HULC (herramienta unificada LIDER-CALENER).

## II. METODOLOGÍA

### A. Auditorías Energéticas

La metodología de una auditoría energética aplicada a edificios se describe en la norma española UNE-EN16247. En este estudio se llevó a cabo una auditoría energética, siguiendo las siguientes etapas de la figura 2.

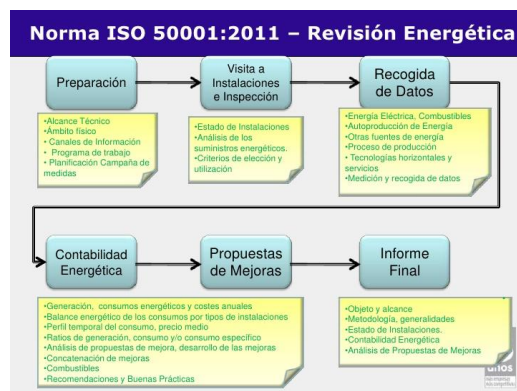


Fig. 2. Metodología de una auditoría energética. Fuente: AENOR.

En la recogida de datos se hicieron los inventarios:

- Del edificio (planos, geometría y materiales). Figura 3
- De las instalaciones térmicas Figura 4.

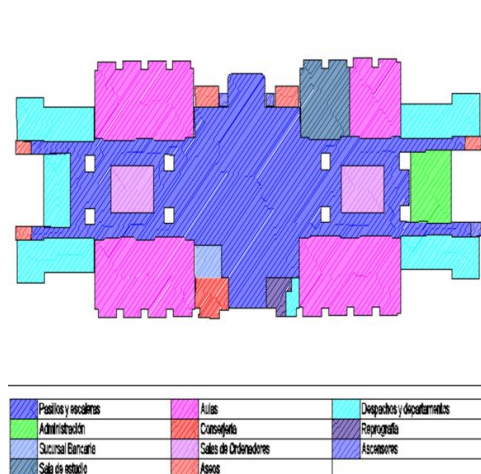


Fig. 3. Plano planta primera.



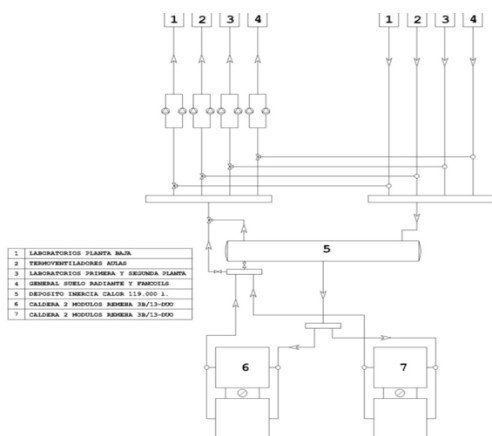


Fig 4: Sistema de calefacción.

Posteriormente se midió diferentes parámetros físicos como temperatura, humedad, potencia eléctrica, potencia térmica de calderas y elementos terminales, ciclo de bombas de calor, iluminación, etc. [2].

La siguiente etapa fue la contabilidad energética de calor, frío y electricidad [3].

Finalmente se llevó a cabo un plan de Medidas de mejoras energéticas MAES, estudiando su rentabilidad económica.

#### B. La certificación energética de edificios.

La certificación energética de los edificios tiene como objetivo proporcionar una información objetiva acerca de las características energéticas de los edificios a los intervinientes en el sector de la edificación. También podrá incluir opciones para la mejora de dichas características energéticas.

La Herramienta Unificada Lider-Calener GT (HULC) es una implementación informática con software de simulación dinámica, que permite calcular:

- Demandas de energía de calefacción y refrigeración.
- Consumos energéticos térmicos, ACS y eléctricos de iluminación.
- Emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Certificación energética de edificios nuevos y existentes.
- Propuestas de mejoras energéticas MAEs.

### III. EDIFICIO ESTUDIADO

Se ha seleccionado la Escuela de Ingenierías Industriales del campus de la Universidad de Valladolid (UVa) como edificio de estudio, figura 5, para aplicar las herramientas de un Sistema de Gestión Energética (SGEn) por dos razones principales:

- Este edificio dispone, de un indicador de consumo energético final kWh/m<sup>2</sup> de los mayores que componen el Campus. Por lo tanto, un análisis de sus mejoras energéticas, permitirán una mayor eficiencia energética, económica y una mayor reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

- Por otra parte, representa un edificio tipo de un Campus, ya que combina espacios administrativos, aulas, despachos, laboratorios y zonas comunes.



Fig. 5. Edificio Escuela de Ingenierías Industriales del campus de la Universidad de Valladolid (UVa).

Se realizará un inventario de los planos, figura 3 y materiales, tabla 1 que componen el edificio estudiado, así como, un inventario de los equipos de las instalaciones térmicas, figura 4, y eléctricas del edificio,

TABLA 1.

EJEMPLO DE ALGUNOS MATERIALES.

Capas	Cerramiento fachada lateral	
	1 pie LM métrico	24 cm
	Mortero de cemento	2 cm
	MW Lana mineral	5 cm
	Cámara de aire sin ventilar	5 cm
	Tabicon de LH doble	7,5 cm
	Mortero de cemento	2 cm
Transmitancia térmica U		0,42 W/m <sup>2</sup> K
Nombre		Ventanas tipo 1
Acristalamiento		Doble con cámara de aire (4/6/5)
Marco		Metálico sin rotura de puente térmico
Color Marco		Intermedio (Clase 2)
Porcentaje ocupado por el marco		18,8 %

A continuación, se utiliza el programa de certificación energética LIDER-CALENER GT que nos calcula, demanda de calefacción y refrigeración, la calificación energética del edificio, los consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub>.

También se aplica la herramienta de un SGE como la auditoría energética en la que se analiza el histórico de facturación energética del edificio y después siguiendo la metodología ya expuesta anteriormente, en el apartado II, obtenemos los consumos energéticos.

Se presenta un estudio comparativo de consumos energéticos y emisiones de CO<sub>2</sub> entre ambas herramientas.

#### IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la figura 6 se muestra una pantalla del programa de simulación energética LIDER-CALENER GT (HULC), y que usa el motor de cálculo DOE 2, referente al edificio estudiado.

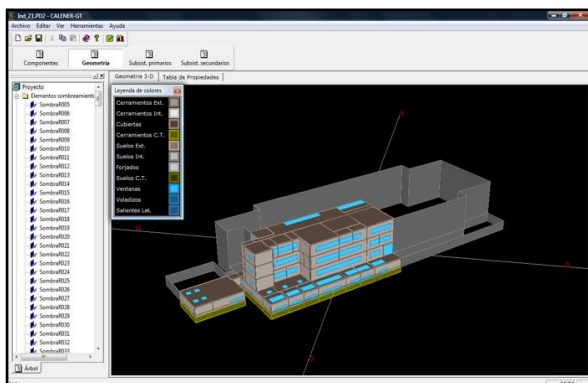


Fig. 6. Ventana en CALENER GT.

El primer resultado obtenido por el CALENER GT y que se presenta en la figura 7 es la certificación energética del edificio, siendo obligatorio en España para todos los edificios. En la etiqueta energética obtenida, se observa que en este edificio en base al indicador relativo de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> entre el edificio objeto y el de referencia, nos resulta una clase A.



Fig. 7. Etiqueta de calificación energética del edificio.

Los datos de emisiones CO<sub>2</sub>, consumo de energía primaria, y final en todo el edificio relativos a iluminación, aire acondicionado y calefacción se muestran en la tabla 2.

TABLA 2.

CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN REALES EN EL EDIFICIO.

Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg/año)	
Iluminación	240.000
Refrigeración	181.000
Calefacción	316.100
Consumo de energía primaria (kWh/año)	
Iluminación	961.000
Refrigeración	729.000
Calefacción	1.500.000
Consumo de energía final (kWh/año)	
Iluminación	370.000
Refrigeración	281.000

Emisiones CO <sub>2</sub> (Kg/año)	
Iluminación	240.000
Calefacción	1.400.100

Representando un porcentaje de consumo en energía primaria, figura 8.



Fig. 8. Consumo energía primaria por año.

Posteriormente se realiza una auditoría energética siguiendo la metodología mostrada anteriormente en el apartado II. En las figuras 9, 10 y 11 se muestran la evolución de los consumos térmicos y eléctricos anuales del edificio y sus costes económicos entre los años 2006 y 2013.

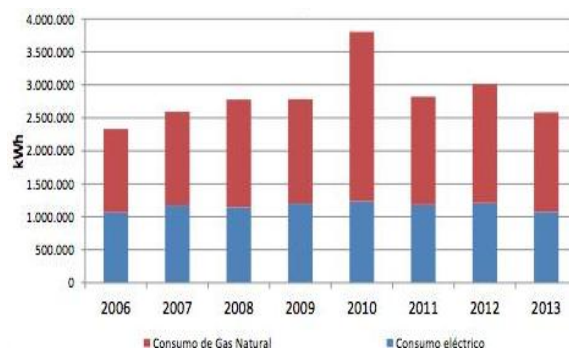


Fig. 9. Evolución del consumo térmico y eléctrico anual del edificio.

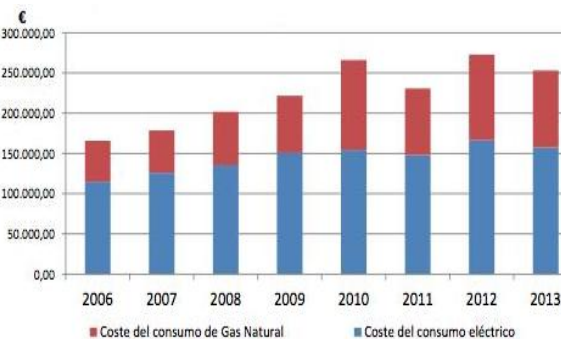


Fig. 10. Evolución de costes económicos térmicos y eléctricos anuales.

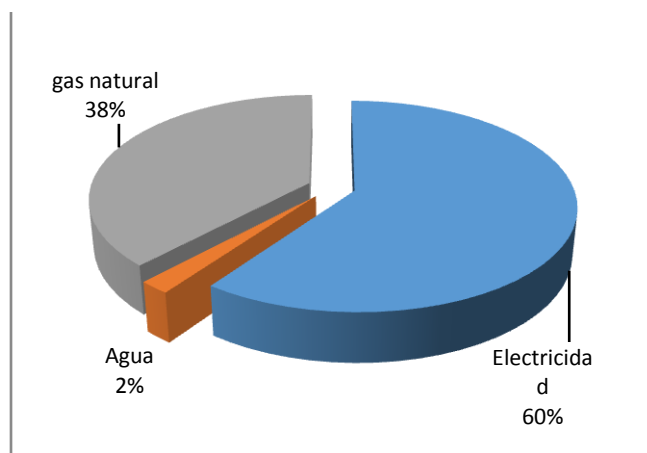


Fig. 11. Reparto de costes anuales.

El desglose de consumos energéticos y costes se muestran en la figura 12

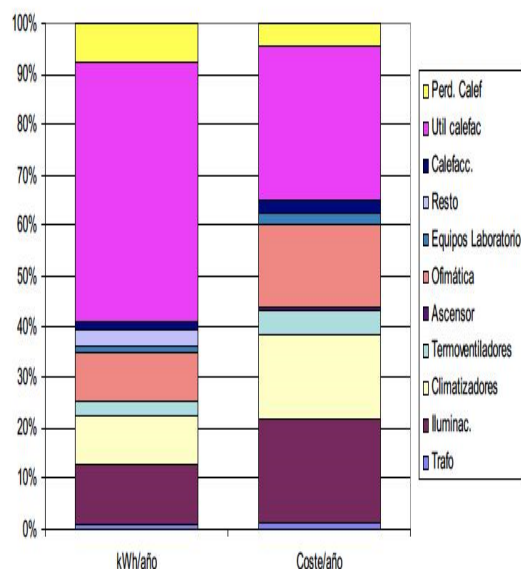


Fig. 12. Desglose de consumos y costes energéticos.

Una vez que hemos utilizado en el estudio de un edificio universitario estándar, dos herramientas, una correspondiente a un sistema de gestión energética SGE, como es la auditoría energética, y otra aplicada a la certificación energética de edificios mediante la simulación dinámica con el programa de software LIDER-CALENER GT, con motor de cálculo DOE2, podemos hacer un análisis comparativo entre ambas herramientas relativas a los datos de consumo de energía final obtenidos en el edificio en kWh/año en iluminación, refrigeración o aire acondicionado y calefacción.

Los datos de la tabla 3 y figura 13, presentan los valores de consumo de energía final anual obtenidos en la auditoría energética y los obtenidos en la simulación dinámica energética usada en la certificación energética. Si comparamos ambas obtenemos un error de cálculo en los tres servicios energéticos menor que el 10%

TABLA 3  
CONSUMOS DE ENERGÍA FINAL.

	Certificación kWh	Auditoría kWh	Error
Iluminación	370.000	346.000	6,6 %
Refrigeración	281.000	285.000	1,6 %
Calefacción	1.400.000	1.505.752	7 %

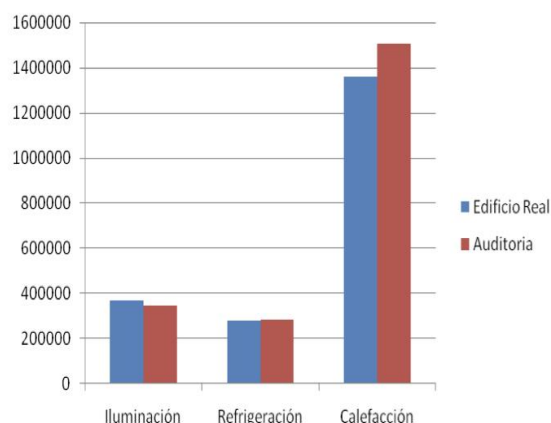


Fig. 13. Comparación entre los consumos de energía final kWh anual entre la auditoria y la certificación energética (Edificio real).

## V. CONCLUSIONES

En el estudio energético de un edificio estándar tipo universitario, que integran nuestros Campus, se han utilizado dos herramientas, una de gestión energética SGen, ISO 50001, como es la auditoría energética y la otra es la certificación energética, mediante simulación dinámica. Cada herramienta utilizada, presenta metodologías de análisis diferentes. Así la Certificación energética a través del programa de software LIDER-CALENER GT (HULC) presenta un procedimiento totalmente teórico mediante la simulación de un modelo térmico, mientras que la auditoría energética emplea un método totalmente experimental a través de medidas de parámetros físicos. Las dos herramientas consiguen el mismo objetivo final y que consiste en calcular y analizar los consumos energéticos e impactos ambientales. Además, los dos permiten proponer MAES y cuantificar su rentabilidad económica. A través de este estudio sobre gestión energética de un edificio universitario, y mediante las herramientas de certificación y auditoría energética, se han podido determinar los consumos energéticos, las propuestas de MAES, los ahorros energéticos y económicos, la rentabilidad económica y las emisiones de efecto invernadero evitadas.

Finalmente, en base a los resultados obtenidos por ambas herramientas de gestión energética, se comprueban que los porcentajes de error son inferiores al 10%, figura 13. [5] Esto presenta una novedad relevante y es que, si bien la norma internacional ISO 50001 solo propone la auditoría energética como herramienta de gestión, nosotros, dado los resultados tan favorables como se muestran en este estudio, errores de consumo energético menores del 10% así como mejoras energéticas, proponemos como alternativa solo para edificios no residenciales, emplear en la ISO 50001 la otra herramienta

que es la certificación energética siempre que se emplee como programa de software uno de simulación dinámica con motor de cálculo DOE2 como es el LIDER-CALENER GT. Esto reducirían los costes de análisis, ya que la certificación es obligatoria en toda la UE y podría sustituir en los edificios a la auditoria energética para poderla usar como herramienta en un SGen ISO 50001, siguiendo la directiva europea de eficiencia energética.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es fruto de un proyecto de investigación apoyada por la Junta de Castilla y León para grupos de excelencia competitivos, cuyo título es: "Evaluación energética y medidas de confort térmico en edificios universitarios hacia cero energía, combinando el enfriamiento

evaporativo y la estructura activada térmicamente TAB'S (Ref.:VA029U16-2016).

#### REFERENCIAS

- [1] Francisco Javier Rey Martínez y Eloy Velasco Gómez. "Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas". Editorial Thomson. Madrid 2006.
- [2] ASHRAE. Fundamentals.2013 (Book)
- [3] C. Martani, D. Lee, P. Robinson, R. Britter, C. Ratti, in: ENERNET: Studying the dynamic relationship between building occupancy and energy consumption, Energy Build. 47 (2012) 584–591,
- [4] G. Strbac, in: Demand side management: benefits and challenges, Energy Policy 36 (12) (2008) 4419–4426
- [5] P.H. Shaikh, N.B.M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi, T. Ibrahim

# *Interface gráfica via RNA para classificação de solos em recuperação em função dos atributos físicos e dos tratamentos*

Márcio Presumido Junior<sup>1</sup>

Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Tupã, Brasil.  
E-mail: presumidojr@gmail.com.

Leandro Souto de Oliveira<sup>2</sup>

Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Tupã, Brasil.  
E-mail: leandrosouto182@hotmail.com.

Alfredo Bonini Neto<sup>3</sup>

Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Tupã, Brasil.  
E-mail: bonini@tupa.unesp.br.

Pedro Henrique Presumido<sup>4</sup>

Departamento de Ambiente e Recursos Naturais - ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Londrina, Londrina, Brasil  
E-mail: pedrohpresumido@gmail.com

Larissa Oliveira Paulista<sup>5</sup>

Departamento de Ambiente e Recursos Naturais - ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Londrina, Londrina, Brasil  
larissa-paulista@hotmail.com

Carolina dos Santos Batista Bonini<sup>6</sup>

Faculdade de Ciências Agrônomicas e Tecnológicas, FCAT, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Dracena, Brasil.  
E-mail: carolbonini@dracena.unesp.br

**Resumo** – Nos dias atuais, a inteligência artificial vem numa crescente pela inovação de ferramentas que facilitam ou até mesmo substituem o trabalho humano e com isso vem ganhando espaço e grande destaque mundial. As Redes Neurais Artificiais (RNAs) é uma dessas ferramentas, pois apresentam um grande poder e variabilidade de aplicações, principalmente quando trata-se de classificação de dados, reconhecimento de padrões, análise de imagens, entre outros. O uso de RNAs ainda é um ramo pouco estudado, principalmente quando se trata de áreas correlatas, como as Ciências Agrárias (Engenharia Agrônômica, parte da Engenharia de Biosistemas, entre outras). Logo a criação de uma interface gráfica para análise de solos degradados pode tornar esse estudo muito mais atrativo. Justifica-se então a criação desse projeto no intuito de levar ao usuário um programa mais amigável com robustez e de fácil assimilação, o que hoje em dia isso não acontece, ficando restrito apenas a profissionais ligado a área computacional. Com isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa interativo através da interface gráfica para a utilização das RNAs em uma área muito conhecida, porém pouco explorada nesse assunto, que a análise física de solos degradados, sendo os atributos físicos como dados de entrada da rede e como saída os índices da recuperação do solo.

**Palavras-chaves** – Classificação de dados; inteligência artificial; interface gráfica; programação.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização dos recursos naturais de forma inadequada geralmente dá lugar a um novo sistema ecológico não sustentável. Com isso, solos utilizados intensamente e de forma inadequada, são levados à degradação [1].

Nos últimos anos, publicações de trabalhos envolvendo Redes Neurais Artificiais (RNAs) têm crescido gradativamente, no Brasil, como: [2-5] e no exterior: [6-10] entre outros. Isto se deve ao grande poder de aplicações destas metodologias em diversas áreas. As RNAs são capazes de extrair informações não apresentadas de forma explícitas através de exemplos e são adequadas para a análise de sistemas com incertezas, sendo usadas como alternativas aos métodos estatísticos.

Em [11] foi proposto o desenvolvimento de uma interface gráfica voltada para a resolução do problema de planejamento da expansão das linhas de transmissão. A grande dificuldade encontrada por usuários ao interagir com estes programas, motivou o desenvolvimento de uma aplicação com interface gráfica. Já em [12], foi desenvolvido uma interface gráfica capaz de otimizar a utilização de métodos numéricos. A ideia consistiu na utilização de um grupo de painéis, sendo que, cada painel abriga a interface de um determinado método.

Não apenas nessa área, mas em muitas outras a interface gráfica tem demonstrado seu poder de aplicação.

Recentemente, em [13] foi desenvolvido um *software* utilizando a lógica *fuzzy* para a comparação da massa corporal de bovinos entre si e identificação dos grupos para abate, e dos que necessitam de alimentação mais intensa, utilizando-se das variáveis “massa” e “altura”, e a saída IMCFuzzy.

Vários outros trabalhos envolvendo interface gráfica foram desenvolvidos nos últimos anos. [14-18].



Com isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um programa interativo para a utilização das RNAs de forma mais interativa em uma área muito conhecida, porém pouco explorada nesse assunto, que a análise física de solos degradados via RNAs, sendo os atributos físicos (densidade do solo, porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade) e a resistência mecânica a penetração) como dados de entrada da rede e como saída os índices da recuperação do solo. A interface gráfica desenvolvida proporciona não só um ambiente mais amigável para o usuário, mas também um pacote que auxilia e facilita o aprendizado para pesquisadores e os estudantes de graduação e de pós-graduação em engenharia, neste caso relacionados com a análise de solos degradados.

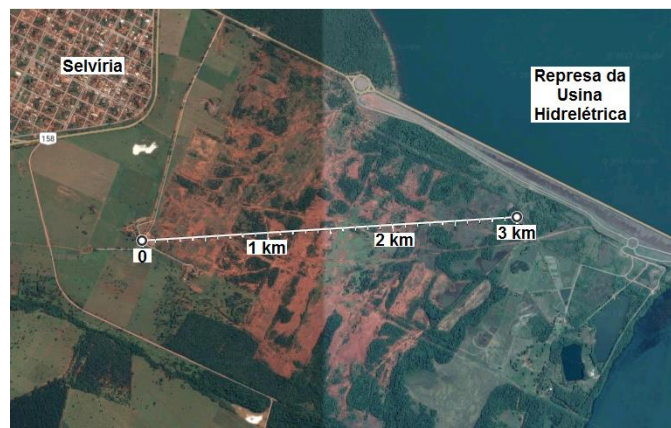
## II. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido em um ambiente computacional utilizando o software MATLAB. Este proporciona um bom desempenho computacional num ambiente mais amigável para o usuário. Os benefícios do uso do MATLAB no ambiente universitário têm se comprovado não só pelo grande número de livros textos que passaram a incorporar exercícios e problemas baseado neste pacote, mas também pelo grande número de artigos relacionados. Entre as principais vantagens deste software estão:

- A linguagem comercial de alto nível e amplamente difundida nos cursos de engenharia;
- A vasta seleção de Toolboxes: fuzzy logic, neural network, financial, entre outros;
- Possui recursos para o desenvolvimento de interfaces gráficas portáteis e poderosas;
- O ambiente de visualização dos resultados e programação simples.

Na parte física, foram avaliados a porosidade do solo (macro, micro), a densidade do solo e a resistência do solo à penetração.

O solo analisado no presente trabalho para desempenho do *software* localiza-se no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul (MS), Brasil. A Figura 1 a seguir apresenta a área em estudo. A região apresenta médias de precipitação anual de 1370 mm, temperatura de 23,5 °C e umidade relativa do ar entre 70 e 80%. O solo original da área de estudo foi classificado Latossolo Vermelho distrófico [20]. Da área em estudo, foram retirados 8,6 m do perfil do solo original, para o uso na construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira - SP,



Fonte: Google maps

Figura 1. Área Experimental.

ficando exposto o subsolo da área em estudo, desde 1969 [21]. As amostras analisadas neste trabalho são do ano de 2012 e 2013, as camadas analisadas foram 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m. Maiores detalhes da área experimental (histórico) podem ser encontrados em [1].

A porosidade do solo e densidade do solo foi determinada segundo [20]. A taxa de infiltração de água foi determinada usando o mini-infiltrômetro de disco [22]. E a resistência do solo à penetração foi utilizado penetrológ, modelo Falker, Automação Agrícola.

Os tratamentos utilizados foram: calcário+guandu (c+g), calcário+gesso+guandu (c+ge+g), calcário+gesso+mucuna-preta (c+ge+mp), calcário+mucuna-preta (c+mp), guandu (g), vegetação nativa do cerrado – mata (ma), mucuna-preta (mp), solo exposto (se) e solo mobilizado (sm).

A interface gráfica foi implementada aplicando a função *Figure* e suas propriedades (*Color*, *Units*, *MenuBar*, *NumberTitle*, *Position*, *Resize* e *Name*). Também foi utilizado o comando de controle *Uicontrol* e suas propriedades: *Units*, *Position*, *String*, *Style*, *Enable*, *Callback*, *Visible*, *BackgroundColor*, *ForegroundColor* e *HorizontalAlignment* [23]. Os parâmetros e a Figura 2 a seguir apresentam um exemplo da função e o comando *Uicontrol* para criação de um botão.

```
h1 = uicontrol('Parent',h0, ...
'Units','normalized', ...
'BackgroundColor',Cores.color01, ...
'Position',[0.4 0.22 0.2 0.1], ...
'String','Botão', ...
'FontSize',14,...
'Callback','clc ,teste2',...
'Tag','edit1');
```

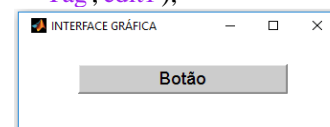


Figura 2. Exemplo da criação de um botão



As principais características da Interface Gráfica desenvolvidas foram:

- Segue um conceito de orientação a eventos. A interface gráfica e a rede neural bem como os cálculos serão desenvolvidas na mesma linguagem, ou seja, no ambiente MATLAB. Isto permite que interajam diretamente entre si, proporcionando um melhor desempenho computacional;
- Permite que o usuário altere diretamente via janela, os parâmetros da rede, tais como: os dados de entrada, editar o número de neurônios e analisar as saídas (desejadas e obtidas);
- Os resultados podem ser apresentados na forma de texto em diversos relatórios, ou diretamente na tela do computador. Ambos os formatos podem ser impressos através de uma impressora a ser definida pelo usuário.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados para teste do programa desenvolvido neste trabalho foram de um experimento do Polo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Extremo Oeste, sediado no município de Andradina-SP. São 63 amostras com 4 variáveis de entrada cada (atributos físicos), representadas pela densidade do solo, porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade) e a resistência do solo à penetração. A Tabela 1 apresenta as classes dos atributos físicos do solo (não recuperado (NR), parcialmente recuperado (PR) e recuperado (R)), com os valores restritos respectivamente para cada classe [24]. A Tabela 1 também apresenta as saídas desejadas com valores entre 0 e 1, em que o 0 representa o solo não recuperado fisicamente e o valor 1 representa o solo recuperado. Outros valores poderiam ser especificados pelos autores, no entanto, uma única saída como proposto neste trabalho representa uma maior facilidade na interpretação dos resultados bem como a montagem dos gráficos comparando as saídas desejadas e as obtidas pela rede. Convém notar, portanto, que embora a RNA tenha sido usada para a classificação de três classes de solo (NR, PR e R), com discretização de sua saída produzida, os resultados apresentados a seguir consideram as saídas numéricas da rede (expressas em valores contínuos).

Tabela 1. Classes dos atributos físicos do solo.

Atributos		Não recuperado (NR)	Parcialmente recuperado (PR)	Recuperado (R)
Densidade do solo (g/cm <sup>3</sup> )		1,61 - 1,80	1,56 - 1,60	1,30 - 1,55
Porosidade do solo (%)	Macro.	0 - 9	10 - 13	14 - 17
	Micro.	41 - 50	37 - 40	33 - 36
Resistência do solo (MPa)		> 2,8	2,10 - 2,8	0 - 2,0
Saídas desejadas		0,0 - 0,33	0,34 - 0,66	0,67 - 1,0

A janela inicial do programa com o respectivo botão para início da formação da rede é apresentada na Figura 3. Clicando no botão “REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

(RNAs)”, outra tela se abre para inserção dos dados de entrada e os dados de saída desejada da rede, Figura 4.

Para o exemplo tomado neste trabalho, a matriz de entrada possui dimensão de 4 x 63, 63 amostras com 4 variáveis cada (densidade do solo, porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade) e a resistência do solo à penetração) e a matriz de saída desejada possui dimensão 1 x 63, 63 amostras representando as classes dos atributos físicos do solo (não recuperado, parcialmente recuperado e recuperado). Inserindo os dados e clicando no terceiro botão “Verificar dados no *command window*”, informações sobre os dados (dimensão das matrizes de entrada e saída) aparecerão na janela de

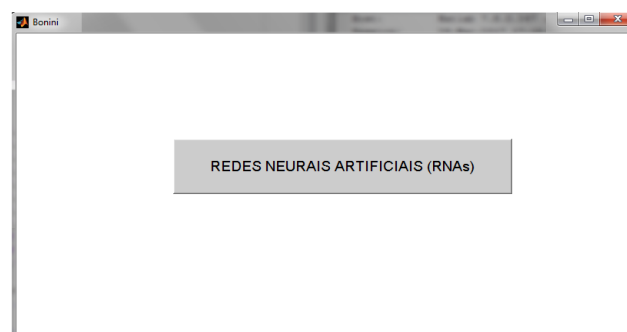


Figura 3. Janela inicial do programa.

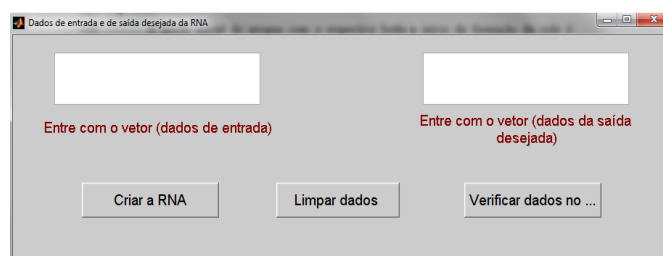


Figura 4. Janela para inserção dos dados de entrada e saída.

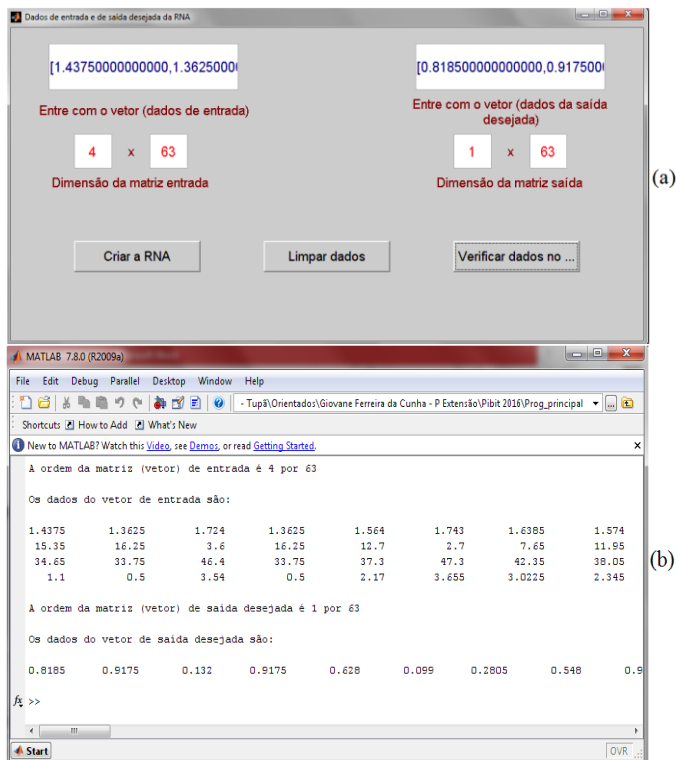


Figura 5. (a) Janela para inserção dos dados de entrada e saída e dimensão das matrizes, (b) Tela do *command window* do MATLAB com os valores de entrada e saída da rede.

inserção dos dados (Figura 5a) e no *command window* do MATLAB (os valores de entrada e saída) (Figura 5b). Caso o usuário deseje limpar os dados de entrada e de saída desejada na janela de inserção dos dados, basta clicar no segundo botão “Limpar dados” que a janela voltará em seu estado inicial, Figura 4.

Caso o usuário erre na inserção dos dados (tamanho dos vetores) um lembrete de erro aparecerá avisando do erro cometido, conforme a Figura 6, outros tipos de erros também são apresentados, como no caso do usuário esquecer de colocar os dados de saída por exemplo, entre outros.

Depois de inserido os dados, ao clicar no botão “Criar a RNA”, uma nova janela, Figura 7 se abrirá para criação da rede, onde o usuário poderá escolher o número de camadas intermediárias (1 ou 2 camadas). Escolhendo por exemplo 1 camada, outra janela se abrirá para escolha do número de neurônios na camada intermediária (5, 10 ou 15 neurônios), Figura 8.

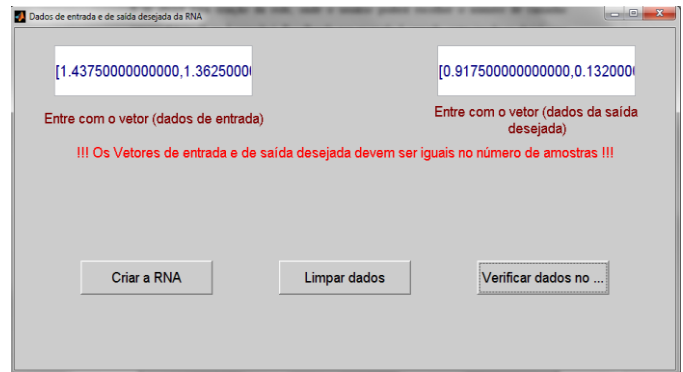


Figura 6. Mensagem de erro caso o usuário erro na inserção dos dados.



Figura 7. Janela para criação da rede, escolha do número de camadas.

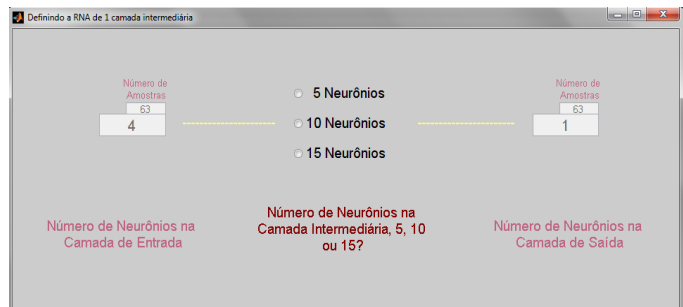


Figura 8. Janela para criação da rede, escolha do número de neurônios na camada intermediária.

Caso o usuário escolha, por exemplo, 5 neurônios, a Figura 9 se abre para escolha da função de transferência, algoritmos de aprendizado e parâmetros de treinamento da rede. Após estas escolhas, basta clicar em “Treinar” para que a rede desenvolvida ajuste todos os pesos conforme as escolhas feitas. A Figura 10 apresenta os resultados do treinamento, nota-se que a saída obtida ficou praticamente em cima da saída desejada, com erro de  $9,06 \times 10^{-4}$ , acarretando em um bom treinamento. Neste caso a rede ficou pronta para a fase de operação, ou seja, classificar amostras que não fizeram parte do treinamento.

A Tabela 2 apresenta o desempenho da rede para o treinamento em número de iterações, erro da rede (performance) e o tempo de treinamento em segundos.

Para simular dados de amostras que não fizeram parte do treinamento, basta o usuário clicar no botão “Simular” da Figura 9, que uma nova tela se abre para inserção dos dados

(Figura 11). Nota-se agora, que apenas uma caixa se abre para inserção dos dados. Uma vez a rede treinada, não é necessário colocar os dados de saída desejada, com todos os pesos ajustados a rede é capaz de classificar sozinha esses novos dados de amostras.

Figura 9. Escolha da função de transferência, algoritmos de aprendizado e parâmetros de treinamento da rede.

Tabela 2. Desempenho da RNA em relação as saídas IMC Fuzzy, IMC Nor e IMC.

Crítérios de parada	Valores atingidos no treinamento da rede
Iterações	7
Erro	* 0,000906
Tempo (s)	1 s

\* critério atingido

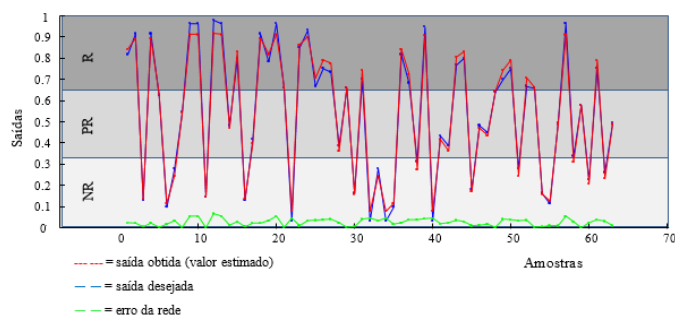


Figura 10. Desempenho do treinamento da RNA com erro médio de  $9,06 \times 10^{-4}$ .

Figura 11: Janela para inserção dos dados para a simulação da rede.

Para visualização dos resultados em forma de gráfico basta clicar em “Plotar o gráfico” que o gráfico dos resultados se abre (Figura 12).

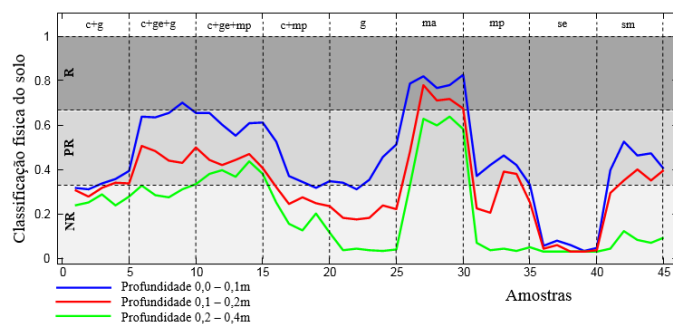


Figura 12: Resultados da classificação do solo pela RNA para cada tratamento e profundidade analisada.

Dos resultados, pode-se observar que a mata apresentou índice de solo recuperado, o que é de se esperar por ser uma vegetação nativa e ter as condições ideais de estrutura do solo. Os demais tratamentos, em especial os que apresentam calcário, gesso e adubos verdes, tiveram índice de solo em média parcialmente recuperado. Para os demais tratamentos, conforme os resultados na Figura 12, apresentaram índices de solo não recuperado. Outro fator importante que pode ser observado são os resultados da classe de recuperação em função da profundidade analisada. A profundidade 0,0 – 0,1 m apresentou melhores resultados (solo recuperado) em relação a profundidade 0,1 – 0,2 m e assim por diante. Esse resultado é devido ao maior acúmulo de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo provenientes das plantas cultivadas nas parcelas experimentais.

As classificações como PR (parcialmente recuperado) e R (recuperado) foram maiores para os tratamentos calcário+gesso+guandu (c+ge+g), calcário+gesso+mucuna-preta (c+ge+mp), respectivamente. Isso ocorre porque o calcário tem a capacidade de neutralizar a acidez do solo, e tornar o alumínio do solo não tóxico para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de guandu e mucuna-preta. Já o gesso tem a capacidade de translocar o cálcio em maiores profundidades, o que permite o melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas. O maior volume do sistema radicular das plantas de guandu e mucuna-preta permite maior absorção de água e nutrientes, o que reflete na maior produção de matéria fresca da parte aérea.

#### IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma interface gráfica via RNA para classificação de dados, neste caso, a recuperação do solo em função dos atributos físicos do solo. Foi possível verificar o desempenho do programa e da rede ao comparar a saída obtida com a saída desejada, com erro de  $9,06 \times 10^{-4}$  para o treinamento. Neste caso, a rede ficou pronta para classificar amostras que não fizeram parte do treinamento, conforme os dados do experimento analisado, onde a rede mostrou que

tratamentos com calcário, gesso e adubos verdes têm apresentado maiores porcentagens (maior potencial) de recuperação. Todas estas características tornam o programa desenvolvido adequado para fins educativos e para pesquisas.

## REFERÊNCIAS

- [1] BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C. Qualidade física de um Latossolo Vermelho em recuperação há dezessete anos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (Online), v. 16, p. 329-336. 2012.
- [2] BONINI NETO, A.; BONINI, C. S. B.; BISI, B. S.; DOS REIS, A. R.; COLETTA, L. F. S. Artificial neural network for classification and analysis of degraded soils. *Revista IEEE América Latina*, v. 15, n. 3, p. 503-509, 2017.
- [3] SILVA, A. A. V.; SILVA, I. A. F.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA, M. C. M. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neurofuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* (Impresso), v. 18, p. 180-187, 2014.
- [4] SILVA, I. A. F. Aplicações de Redes Neurais e NeuroFuzzy em Engenharia Biomédica e Agronomia. 2014, 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2014.
- [5] BUCENE, L. C.; RODRIGUES, L. H. A. Utilização de redes neurais artificiais para a avaliação de produtividade do solo, visando classificação de terras para irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.326- 329, 2004.
- [6] BEUCHERA, A.; SIEMSEN, R.; FRÖJDÖ, S.; ÖSTERHOLMA, P.; MARTINKAUPPIB, A. and EDÉN, P. Artificial neural network for mapping and characterization of acid sulfate soils: Application to Sirppujoki River catchment, southwestern Finland. *Geoderma*. v. 247–248, p. 38–50, 2015.
- [7] ANAGU, I.; INGWERSEN, J.; UTERMANN, J. and STRECK, T. Estimation of heavy metal sorption in German soils using artificial neural networks. *Geoderma*, v. 152, Issues 1–2, 15, p. 104-112. 2009.
- [8] MOUAZEN, A.M.; KUANG, B.; DE BAERDEMAEKER, J. AND RAMON, H. Comparison among principal component, partial least squares and back propagation neural network analyses for accuracy of measurement of selected soil properties with visible and near infrared spectroscopy. *Geoderma*, v. 158, Issues 1–2, 15, p. 23-31, 2010.
- [9] SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes. *Geoderma*, v. 195–196, p. 165-172, 2013.
- [10] LICZNAR, P. AND NEARING, M. A. Artificial neural networks of soil erosion and runoff prediction at the plot scale. *Catena*, v. 51, Issue 2, 20, p. 89-114, 2003.
- [11] PROTO A. B. Interface Gráfica para o Planejamento da Expansão da Transmissão de Energia Elétrica. Dissertação apresentada à UNESP – Campus de Ilha Solteira. 102p. 2009.
- [12] GÓES D. B. R., DA SILVA G. M., GUEDES D. L., SILVA O. F. Desenvolvimento de Interface em MATLAB para Aprendizado e Comparação de Métodos Numéricos. XXXV CNMAC - Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics. vol. 3, n. 1, 2015.
- [13] GABRIEL FILHO L. R. A., PUTTI F. F., CREMASCO C. P., BORDIN D., CHACUR M. G. M., GABRIEL L. R. A. Software to Assess Beef Cattle Body Mass Through the Fuzzy Body Mass Index. *Engenharia Agrícola* (Online), v. 36, p. 179-193, 2016.
- [14] TEIXEIRA A. S. B. Desenvolvimento de uma Interface Gráfica para Classificadores de Imagem. Dissertação apresentada ao Instituto Politécnico de Castelo Branco. 74p. 2011.
- [15] LEAL NETO V. Desenvolvimento de uma Interface Gráfica de Usuário para Modelos Computacionais de Exposição Externa. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Pernambuco. 81p. 2007.
- [16] GASPARINI R. T. Desenvolvimento de um Software em Ambiente Matlab para Simulação de Campo Ultrassônico. Dissertação apresentada à UNICAMP. 107p. 2012.
- [17] SILVA L. H. S., MISHINA K. D. V., FARIAS C. T. T., RODRIGUES M. C., RIBEIRO I. S.. Desenvolvimento de uma Interface Gráfica no Ambiente Matlab para Avaliação do Risco em Oleodutos On-Shore. VI Congresso Nacional De Engenharia Mecânica. 2010.
- [18] BONINI NETO A., PUTTI F. F., SANT'ANA R. C. G., BONINI JUNIOR N. A. Descriptive Statistics for Data Analysis (Soy Production) via Iterative Program. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. v. 6, n. 2, p. 61-70, 2012.
- [19] CANOSSA, J. H. Um Programa Interativo para Estudos de Fluxo de Potência. 2007, 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista - UNESP, 2007.
- [20] EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPSO, 306p. 2013.
- [21] ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. Recuperação do subsolo em área de empréstimo usada para construção de hidroelétrica. *Revista Ciência Agronômica*, 42: 301-309. 2011.
- [22] ZANG, R. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Society of American Journal*, v.61, p.1024-1030, 1997.
- [23] MATHWORKS. Disponível em: <<http://www.mathworks.com>>. Acesso em 21 de maio de 2015.
- [24] KIEHL, E. J. Manual de edafologia: Relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 262p. 1979.

# Dimensionamento de uma câmara de liofilização e de uma câmara de secagem por ar seco frio para alimentos

Arnaldo Araújo, Daniel Pereira, Fábio Amaral, Júlia Soares<sup>1</sup>, Júlio Alves, Maria Ferrari, Marina Ribeiro, Miguel Correia, Paulo Pinheiro, Rui Félix, Sónia Cova, Vítor Sousa, Luís Frölen Ribeiro,

(<sup>1</sup>) Juxitah18@hotmail.com

Climatização e Refrigeração / Engenharia de Gestão de Industrial  
Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Bragança, Portugal.

**Resumo - O mercado de produtos liofilizados tem crescido nos últimos anos. Os principais alimentos produzidos são sólidos, como frutas e refeições prontas. O presente trabalho tem como principal objetivo a conceção e dimensionamento de uma câmara de liofilização industrial, na qual se utilizou o fluido frigorígeno R-404A., juntamente com uma câmara de secagem por convecção baseado num sistema mecânico de refrigeração. A câmara de liofilização apresenta uma capacidade de 185 kg, uma potência de 5.42 kW, sendo que a perda de calor por evaporação dos alimentos é cerca de 3613.05 W. O produto alimentar que se destacou neste estudo foi a maçã, pois trata-se de um produto com uma grande produção na Região de Carrazeda de Ansiães, sendo que a câmara dimensionada pode ser adaptada a outros tipos de produtos alimentares, consoante a época de colheita. Para tal, foi necessário um correto dimensionamento dos equipamentos que constituem os circuitos frigoríficos, bem como os componentes elétricos associados a este projeto. A secagem por ar seco frio é uma técnica de processamento de alimentos que tem o potencial de aumentar significativamente a vida útil de alimentos e para reduzir o desperdício de produtos alimentares dos setores de produção e retalho dos alimentos. Foi dimensionada uma câmara de secagem por ar seco frio, utilizando-se o mesmo fluido frigorígeno e, o mesmo produto da câmara de liofilização. Esta apresenta uma capacidade de 56kg, uma potência máxima de 39kW, um caudal de ar de secagem 1,35 m<sup>3</sup>/min e, comprimento dos tubos do trocador de calor de 3,74 m.**

**Palavras-Chave:** *liofilização, temperatura, pressão, convecção, secagem por ar seco frio.*

**Abstract - The market for lyophilized products has grown in recent years. The main foods produced are solid, like fruits and ready meals. The present work has as main objective the design of an industrial freeze-drying chamber with a convection drying system. A R-404A refrigerant fluid was the chosen one as the main driver of the mechanical refrigeration system. The freeze-drying chamber presents a capacity of 185 kg of food for a 5.42 kW power. The heat loss by evaporation of the food is about 3.6 kW. This study aimed apples because they are largely produced in Bragança region, mostly in the**

municipality of Carrazeda de Ansiães. The drying chamber was also designed to accommodate other types of food produces according to the harvest season. Cold Dry Air Drying is a food processing technique that has the potential to significantly increase the shelf life of food and reduce food waste both in the food production and retail sectors. The drying chamber was designed for cold dry air using the same refrigerant and the same product as the freeze-drying chamber. It has a capacity of 56kg, a maximum power of 39kW, a drying air flow rate of 1.35 m<sup>3</sup> / min and length of the heat exchanger pipes of 3.74 m.

**Keywords – freeze-drying, cold-drying**

## Introdução

Cada vez mais a população adota uma dieta saudável e torna-se exigente quanto ao valor nutricional e sensorial dos alimentos adquiridos. Estes são os principais motivos pelo aumento da procura de alimentos desidratados, que são uma opção mais saudável e prática para as refeições intermediárias. Por outro lado, o consumidor requer produtos alimentícios com uma vida útil maior que a do produto fresco, evitando deste modo, a utilização de uma grande quantidade de aditivos e, que ao mesmo tempo, mantém todas as propriedades nutricionais, odor, cor e sabor [1]. A liofilização é uma tecnologia de secagem que constitui na remoção da água através da sublimação. Ocorre quando o alimento congelado, isto é, quando todo o seu conteúdo de água está na forma de gelo, é submetido a condições de pressões muito baixas. O produto é colocado em câmaras herméticas, o ar de dentro é removido através de bombas de alto vácuo, criando a condição para que ocorra a sublimação da água. A água passa de seu estado sólido para o gasoso a temperaturas muito baixas e sem a presença de oxigénio, fatores muito favoráveis para a preservação das características nutricionais de um alimento. Indicado para produtos que tenham elementos sensíveis ao calor, como proteínas e vitaminas, a liofilização conserva as propriedades nutritivas, pois as membranas das células não se rompem com a perda do vapor de água [2].

O processo de secagem por ar seco frio é definido como a separação total ou parcial de um líquido a partir de um material sólido por aplicação de ar seco e à sua aplicação por

meio da transferência de água a partir da superfície de sólido para o ar seco [3].

## I. PRINCÍPIOS DA LIOFILIZAÇÃO

A secagem por liofilização consiste na remoção de um solvente de algum alimento ou produto por sublimação, ou seja, o solvente previamente congelado passa diretamente do estado sólido para o estado gasoso, sem passar pelo estado líquido. Para que isso ocorra, são necessárias condições específicas de pressão e temperatura. No caso da água, a sublimação ocorre em condições de pressão e temperatura abaixo do seu ponto triplo ( $T=0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $P=4,58\text{ mmHg}$ ), uma vez que a sua fase líquida não ocorre nessa região [1,2], Fig. 1.

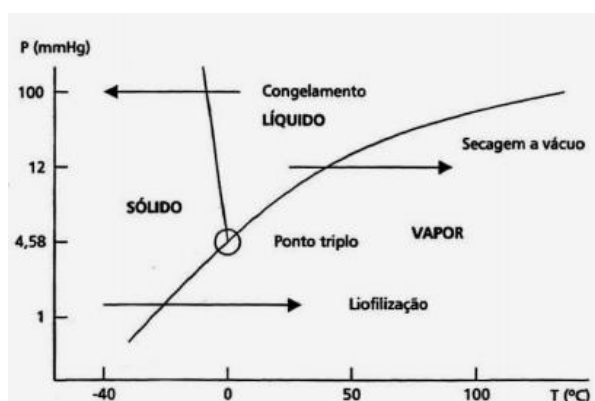


Figura 1 - Diagrama de fases da água e os processos de separação.

### Etapas do processo de Liofilização

A liofilização ocorre geralmente em três etapas: congelamento, secagem primária (sublimação) e secagem secundária.

#### A. Congelamento

A congelamento é a primeira etapa da liofilização e influencia significativamente as etapas subsequentes da secagem. A congelamento ou ultracongelamento total é verificada abaixo do ponto triplo de cada solução, evitando assim a formação de espumas quando da aplicação do vácuo. As amostras são primeiras congeladas rapidamente a temperaturas baixas entre os  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  para que os cristais de gelo sejam de pequenas dimensões, para não provocar rupturas celulares. As dimensões dos cristais estão diretamente relacionadas com a velocidade de congelamento. Se a velocidade for lenta, os cristais são maiores e irregulares. Se a velocidade for maior, há um maior crescimento de núcleos de cristais e tem-se uma rede cristalina mais uniforme, dificultando o fluxo de vapor para fora da matriz.

#### B. Sublimação ou secagem primária

Após o congelamento do produto, ele é levado à câmara de vácuo mantida em condições de pressão e temperatura do

solvente a ser removido, onde ocorrerá a secagem primária que consiste na etapa de sublimação do solvente congelado. É nesta etapa que 80 a 90% da humidade do produto será removida. Como o calor latente de sublimação é muito alto, devem-se manter as prateleiras suficientemente aquecidas para transferir calor para o produto, mas com temperaturas bem controladas para evitar o dano estrutural do mesmo. O produto deve estar completamente congelado, pois se ainda houver solvente na forma líquida, ocorrerá formação de bolhas durante a secagem primária, comprometendo as características estruturais do produto.

#### C. Dessorção ou secagem secundária

A última etapa da liofilização é a secagem secundária que é responsável por remover a humidade residual que fica no produto mesmo após a etapa de sublimação durante a secagem primária (por volta de 15%). Essa água residual está fortemente adsorvida ao substrato sólido (proteínas ou outras macromoléculas), sendo também chamada de água ligada. Essa última etapa de secagem é fundamental para que o produto já atividade microbiana (em geral abaixo de 2%). A energia necessária para remover essa humidade residual é maior que na sublimação e, por isso, as prateleiras são mais aquecidas na parte final do processo, sendo essa etapa bastante demorada e responsável por aproximadamente 40 a 50% do tempo total da liofilização. Como a câmara continua sob vácuo, a temperatura final de aquecimento pode ser amena, de forma a não danificar o produto ou alterar suas propriedades sensoriais.

## II. METODOLOGIA

### Materiais e Métodos

O estudo em questão é focado na secagem de maçãs. Para se alcançarem os cálculos necessários para o dimensionamento da câmara e tabuleiros, foi necessário saber a quantidade de maçãs que cada tabuleiro levava, bem como a área que a maçã cortada em pedaços ocupava. Recorreu-se, desta forma, à pesagem de uma maçã e à colocação dos pedaços cortados num determinado espaço e, efetuaram-se as respectivas medições, como se pode ver nas Figuras 1 e 2.

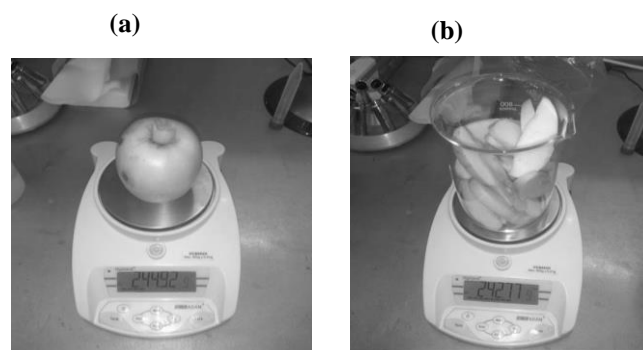
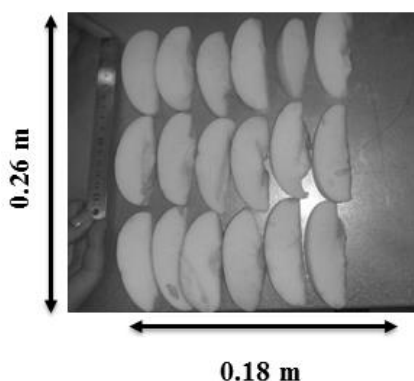


Figura 2 - Pesagem de uma maçã. (a) - Inteira - 244.92 g; (b) - Pedaços - 242.77g.





**Figura 3** - Área ocupada pela maçã em pedaços  
( $A=0.0468\text{m}^2 \sim 0.05\text{m}^2$ ).

Para o desenvolvimento do estudo em questão baseou-se em dados da região de Carrazeda de Ansiães, uma vez que se trata de uma região com uma produção elevada de maçã. Em anos agrícolas razoáveis o potencial produtivo de pomares de “Maçã de Carrazeda” é de cerca de 10 mil toneladas.

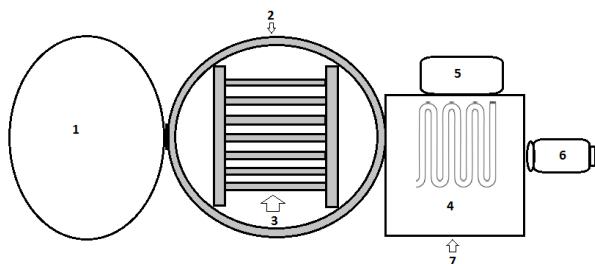
Estima-se que em Portugal 87% da colheita seja para consumo do produto no país no seu estado natural e, 3% para exportação, sendo os restantes para a indústria alimentar, entre os quais para sumo de néctar, compotas, uso culinário, entre outros. Dentro destes, 0.1% da produção é encaminhada para o processo de desidratação.

Para a produção em Carrazeda, apostou-se cerca de 75% na desidratação através da liofilização, sendo o resto reencaminhado para a câmara de secagem por convecção [5].

### III. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

#### 1. Câmara de Liofilização

Os liofilizadores apresentam cinco componentes básicos: câmara de liofilização, bomba de vácuo, condensador, compressor e serpentinas de refrigeração.



**Figura 4** - Esquema representativo do funcionamento de uma câmara de liofilização. 1 - Porta da câmara; 2 - Câmara de liofilização; 3 - tabuleiros; 4 - Serpentina de refrigeração; 5 - Compressor; 6 - Bomba de vácuo; 7 - Condensador.

A Figura 4 mostra o esquema geral de um liofilizador industrial. A câmara de liofilização ou de vácuo (2) é o local onde o produto ou alimento fica contido durante o processo de liofilização. Esta é construída de forma a suportar as pressões negativas de operação e possui uma porta que fecha hermeticamente, através da qual se faz a carga e descarga do equipamento [6].

A câmara de liofilização está diretamente ligada ao condensador (7) que contém serpentinas ou placas por onde circula um fluido que é continuamente resfriado pelo sistema de refrigeração. A sua função é congelar os vapores do solvente removido da amostra pelo processo de sublimação. O condensador opera a temperaturas abaixo de  $-40^{\circ}\text{C}$ . A temperatura da superfície do condensador deve ser mantida em valores tais que a pressão de vapor do gelo esteja bem abaixo da pressão total na câmara. Quanto maior for o gradiente de temperatura entre o produto e o condensador, maior será a velocidade de secagem. O condensador, por sua vez, está ligado à bomba de vácuo, que tem a importante função de remover os vapores não condensáveis do liofilizador e garantir uma pressão de operação abaixo do ponto triplo da água ou de outro solvente, a fim de permitir a secagem em baixas temperaturas por meio da sublimação desse mesmo solvente. O calor deve ser fornecido ao material através do aquecimento das placas por um fluido circulante ou por resistência elétrica. A razão de remoção da humidade depende da taxa de fornecimento de calor ao produto. Portanto, depende da condutividade térmica do material bem como da sua espessura.

#### 2. Câmara de secagem por ar seco frio

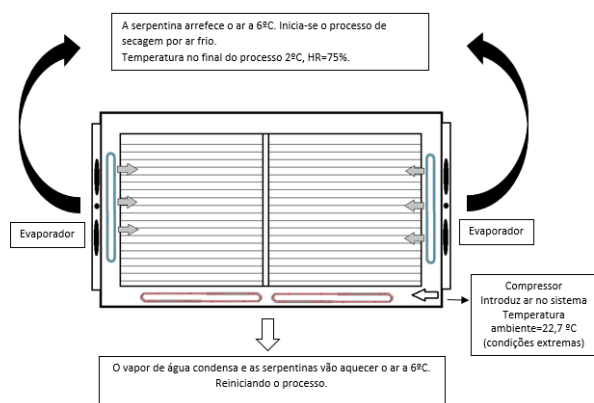
Neste projeto foi desenvolvida uma câmara de secagem por ar seco frio. Depois do dimensionamento dos diversos componentes a condições extremas e tendo em conta a esterilização da câmara, foi necessário definir o processo.

Inicialmente o compressor introduz ar no sistema à temperatura ambiente,  $22,7^{\circ}\text{C}$ , utilizando a temperatura de referência para a o caso de estudo em Carrazeda de Ansiães, de acordo com o Despacho 15793F; o ar segue então para as serpentinas de ar frio para arrefecer até  $6^{\circ}\text{C}$ . Ao atingir esta temperatura, inicia-se o processo de secagem, com a abertura de válvulas, permitindo a entrada de ar e a circulação pela câmara de alimentos.

Quando o ar de secagem atinge os  $2^{\circ}\text{C}$  e aproximadamente 75% de humidade relativa, o ar é forçado a sair para a zona de condensação, com o objetivo de o vapor de água presente no ar condensar e ser removido.

De seguida o ar segue para as serpentinas quentes para aquecer a  $6^{\circ}\text{C}$ , reiniciando o processo.

Foi definido a utilização de dois evaporadores como alternativa para melhorar a eficiência de secagem do processo. No final do processo, após a remoção dos alimentos, a câmara poderá ser esterilizada, com recurso ao aquecimento do ar a  $60^{\circ}\text{C}$ .

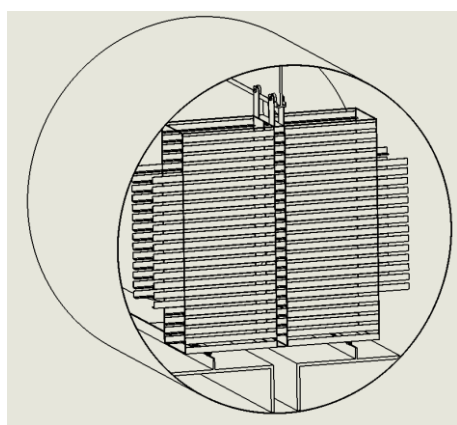


**Figure 7** – Esquema de funcionamento da câmara de secagem por ar seco frio.

#### IV. DESENHO E DIMENSIONAMENTO

##### 1. Câmara de Liofilização

Para o estudo em questão foi projetada uma câmara de liofilização construída em aço inoxidável AISI 304, com dois conjuntos de prateleiras que suportam 23 tabuleiros cada. Como se pode observar pela Figura 1, tem-se um maior comprimento dos suportes onde cabem dois tabuleiros (tabuleiro maior de 0.4x0.6 m e um tabuleiro menor de 0.2x0.4 m) de modo a se obter um maior aproveitamento do espaço envolvente. A câmara tem um comprimento de 2.00046 m, uma largura de 2.208 m e um volume de 0.19 m<sup>3</sup>.

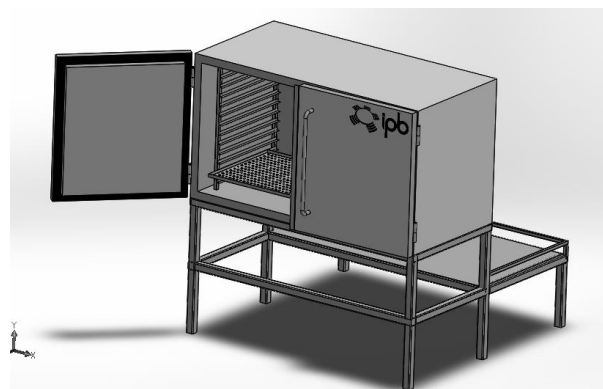


**Figure 6** - Desenho da câmara de liofilização.

##### 2. Câmara de secagem por ar seco frio

A câmara de secagem de alimentos por ar seco frio, foi dimensionada através de uma arca horizontal de 419 litros, disponível no mercado. A razão da escolha é devido ao facto de ser o mais rentável à fabricação em massa devido às medidas tabeladas, e também pelo seu isolamento. A forma retangular permite um maior aproveitamento de espaço, sendo possível colocar 26 tabuleiros num volume de 0.77m<sup>3</sup>. A

câmara esta fixa numa estrutura de 0.7m de altura, permitindo uma fácil colocação de todos os tabuleiros, e na parte posterior da câmara serão fixados os restantes componentes.



**Figure 8** - Esboço da câmara de secagem por ar seco frio.

#### V. CÁLCULOS EFETUADOS

##### 1. Câmara de Liofilização

Para calcular a perda de calor por evaporação dos alimentos [4], recorreu-se à seguinte equação (1):

$$Q = m * c_p * \Delta t \quad (1)$$

Onde: m é a massa (kg),  $c_p$  é a massa específica (kcal/kg/°C) e o  $\Delta t$  a diferença de temperatura (°C); dando um valor de 3613.05 W. As perdas de calor por convecção e condução na câmara foram calculadas através das expressões (2) (3) (4),

$$R = \frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i} + \frac{1}{h_e} \quad (2)$$

$$U = 1/R \quad (3)$$

$$Q_2 = U * A * \Delta t \quad (4)$$

Onde o U é o coeficiente de transmissão de calor (W/m<sup>2</sup>.C), A é a área (m<sup>2</sup>) e,  $\Delta t$  a diferença de temperatura (°C); resultando 314,69 W. A potência da câmara, esta foi obtida com a seguinte equação (5)

$$Q_{total} = 1,2 * (Q_1 + Q_2) \quad (5)$$

Dando 5,42 kW, com um coeficiente de segurança de 20%.

##### 2. Câmara de secagem por ar seco frio

Inicialmente foram definidas as condições extremas de temperatura ambiente e condições de humidade relativa. De seguida através do software *PsyCalc*, foram definidas as entalpias das principais temperaturas necessárias para os cálculos [4], tabela 1.

Temperatura de bolbo seco (9C)	% HR	Habs (gH2O/kg ar seco)	Entalpia (KJ/Kg ar seco)	Observações
22,7	55	10,19	48,73	Ar ambiente
0	100	4,06	10,16	Air desumificado
60	3,06	4,06	71,05	Ar quente
6	3,06	5	19,6	Ar de secagem convencional
2	75	3,51	10,81	Ar depois da secagem

Tabela 1 – Definição das entalpias.

O caudal de ar seco foi calculado, com recurso às seguintes expressões (6), (7), (8), (9),

$$V_{\text{sec}} = \frac{C \cdot Ag}{t} \quad (6)$$

$$\Delta Ha = Ha_{60^\circ} - Ha_{22^\circ} \quad (7)$$

$$V_{\text{sec}} = \Delta Ha \cdot \dot{m}_{as} \quad (8)$$

$$Q_{ah} = \dot{m}_{as} \cdot v_e \quad (9)$$

Sabendo que a quantidade de água presente numa maçã é de 85%, e para a quantidade de maçãs máxima que a câmara pode suportar, retiramos as gramas de água C.Ag, que pode levar, 47515,71g, e o tempo é dado em segundos, sendo que 12h de processo equivale a 43200s.

Depois calculou-se a potência necessária para compressor, através das fórmulas (10) e (11):

$$\Delta h = h_{60^\circ} - h_{22,7^\circ} \quad (10)$$

$$P = \Delta h \cdot \dot{m}_{as} \quad (11)$$

Sendo que com as mesmas fórmulas foi possível obter a potência do evaporador.

Por último foi calculado o comprimento de tubagem necessário para o tubo intercambiador de calor. Utilizando as equações (12),(13),(14),(15),

$$q = z \cdot A \cdot \Delta T \quad (12)$$

$$A_L = [(l \cdot a) - (\pi \cdot r^2 \cdot N)] \cdot L \cdot n \quad (13)$$

$$A_T = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L \quad (14)$$

$$A = A_T + A_L \quad (15)$$

Sendo  $z$ , o coeficiente de convecção, 20 W/m<sup>2</sup>.°C (limite inferior no intervalo de convecção forçada),  $l$  é o comprimento da lâmina,  $a$  é a largura da lâmina,  $r$  é o raio da tubagem,  $N$  é o número de tubos do evaporador, estando estipulado (parâmetro standard) que por cada metro de tubo tem 17 lâminas, obtendo-se assim o  $n$ .

Obtendo no final os seguintes dados, tabela 2.

Problema	Cálculo
Caudal de ar	1,35 m <sup>3</sup> /min
Potência do compressor	35 HP
Comprimento dos tubos do trocador	3,74 m
Potência do sistema de aquecimento	30236,19 W

Tabela 2 – Dados finais dos componentes

## VI. LIOFILIZAÇÃO VS DESIDRATAÇÃO POR AR SECO FRIO

As principais características do processo de liofilização são:

- Eficaz para a maioria dos alimentos, mas normalmente utilizada para alimentos de elevado valor;
- Utiliza temperaturas baixas;
- Tempo de secagem varia entre 12 e 24 h;
- A humidade é perdida por sublimação, que acontece no limite da zona dos cristais de gelo;
- As partículas desidratadas são porosas;
- Baixa densidade dos alimentos que foram sujeitos ao processo;
- Odor e cor original;
- Rehidratação rápida, e completa;
- Excelente estabilidade do produto durante o armazenamento;
- Processo não poluidor, água residual baixa (1 a 3%), fácil de armazenar e de transportar;
- 100% natural, pois o processo dispensa o uso de agentes conservadores e outros aditivos;
- Trata-se de um equipamento e de um custo energético muito caro (2 a 3 vezes mais que em outros métodos de secagem).

Quanto ao processo de desidratação por ar seco frio as principais características são:

- Eficaz para alimentos facilmente desidratados, como fruta, sementes e vegetais;
- Temperaturas normalmente utilizadas estão entre os 37°C e 93°C;
- Tempo de secagem normalmente é curto, menor que 12 h;
- A evaporação da água dá-se à superfície do alimento;
- As partículas desidratadas são sólidas;
- Elevada densidade dos alimentos que foram sujeitos ao processo;
- Alteração do odor;
- Alteração da cor, processos de acastanhamento;
- Rehidratação lenta, e normalmente incompleta;
- Alteração do sabor;
- Boa estabilidade durante o armazenamento, tendencialmente os produtos escurecem, e ficam mofados;
- Baixo custo.

## VII. VIABILIDADE DO PROJETO

### 1. Análise e Sensibilidade do Valor Atual Líquido (VAL) do Projeto e Cenários para a câmara de liofilização

A criação da máquina industrial de liofilização tem por fim exportar os seus produtos, tanto no mercado nacional como no internacional e a sua distribuição será feita para diversos estabelecimentos, tais como: hipermercados, lojas de categoria *gourmet* e/ou outro tipo de potenciais consumidores interessados, por exemplo, restaurantes. Assumindo que somos onze sócios com um capital inicial de 50 000€ cada um, com um investimento total de 132 000 € (instalações e equipamentos) e com uma produção de 10 000 Kg de maçãs liofilizadas traduzindo-se em 5 333 *couvettes* de 60 gr a 2,95€ cada. Este estudo foi analisado para um prazo de 10 anos.

Prevê-se:

- Que se irá ter 80% de reembolso no quarto ano;
- Os restantes 20% no quinto ano;
- Alcance de lucro no fim do sétimo ano;
- No décimo ano os equipamentos estão totalmente amortizados;
- Especula-se um acresce de vendas e de produção de 3% ao ano, de forma linear;
- Os *cash-flows*, a partir do quarto ano, demonstram a *performance* positiva do projeto, sendo impensável a situação de falência;
- Através da Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e Período de Recuperação do Investimento (PRI), o VAL apresenta um valor positivo, 283 900,00€, isto é, o projeto é fiável e aceitável e os capitais investidos são recuperado em 3anos/13meses/10dias.
- O valor do ativo será de 199 200,00€ sendo o passivo de 41 900€, demonstrando uma forte dinâmica e uma solidez financeira, permitindo aumentar a credibilidade junto dos seus parceiros económicos;
- Recorreu-se aos mapas dos cenários: otimista, razoável e pessimista. Ou seja, nas melhores e nas piores das hipóteses, aumentando e/ou diminuindo 15% as vendas e os custos e o investimento é sempre alcançado ao fim de um período, demonstrando sempre um VAL positivo nas três situações.

### 2. Análise e Sensibilidade do Valor Atual Líquido (VAL) do Projeto e Cenários para a câmara de secagem por ar seco frio

A criação da máquina por Ar Frio tem por fim exportar os seus produtos, tanto no mercado nacional como no internacional, a sua distribuição será feita para diversos estabelecimentos, tais como: hipermercados, lojas de categoria *gourmet* e/ou outro tipo de potenciais consumidores interessados, por exemplo, restaurantes ou até particulares/individuais. Assumindo que somos onze sócios com um capital inicial de 2 000€ cada um, com um investimento total de 13 000€ (componentes de montagem e

equipamentos) e com uma produção de 10 000 Kg de maçãs traduzindo-se em 5 333 *couvettes* de 60gr a 2,95€. Este estudo será analisado para um prazo de 10 anos. Prevê-se:

- Através do Período de Recuperação do Investimento (PRI), iremos ter 80% de reembolso em meados do terceiro ano;
- Os restantes 20% no quinto ano;
- Alcance de lucro no fim do sétimo ano, visto ter-se realizado um empréstimo de 60% do investimento;
- No décimo ano os equipamentos estão totalmente amortizados;
- Especula-se um acresce de vendas e de produção de 3% ao ano, de forma linear;
- Os *cash-flows*, a partir do quarto ano, demonstram a *performance* positiva do projeto, sendo impensável a situação de falência;
- Com uma taxa de atualização de 7%, a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é de 9% e o VAL apresenta um valor positivo, 362 108,72 €, isto é, o projeto é fiável e aceitável e os capitais investidos são recuperado em 3anos/3meses/50dias;
- O valor do ativo mais do capital próprio será de 353 724, 32€ demonstrando uma forte dinâmica e uma solidez financeira, permitindo aumentar a credibilidade junto dos seus parceiros económicos;
- Recorreu-se aos mapas dos cenários: otimista, razoável e pessimista. Ou seja, nas melhores e nas piores das hipóteses aumentou-se e diminui-se 15% as vendas mais os custos de investimento sendo que no melhor e atual cenário é alcançado ao fim de um período demonstrando um VAL positivo, no pior cenário temos uma perda de 2 000€.

## VIII. CONCLUSÕES

Embora o processo de liofilização requeira relativamente altos investimentos, a liofilização é uma técnica muito superior de conservação que as demais, por preservar as características do produto de modo particular, apresentando ótimas características sensoriais similares às do produto natural, facto que nem sempre acontece nas demais técnicas de desidratação de produtos. O processo também reduz em níveis significantes a decomposição térmica e a perda de voláteis, preservando deste modo as características essenciais de um alimento mas o seu custo é substancial o que torna uma máquina viável apenas se for utilizada com regularidade.

Deste modo, o nosso estudo de projeto baseou-se na câmara de secagem por ar seco frio, pois o processo de liofilização tornar-se-ia muito dispendioso; e, optou-se também por reduzir o tamanho da câmara, como o objetivo de poder ser mais utilizada e adquirida por entidades, visto que o seu custo é bem mais reduzido comparado com a câmara de liofilização. Verificou-se que tem havido uma crescente demanda por alimentos mais naturais que apresentem um alto índice de nutrientes e não utilizem compostos químicos nas suas composições, induzindo as empresas do ramo alimentício a procurar por novos métodos para a obtenção desses produtos sendo que uma das alternativas viáveis poderá ser a câmara de secagem por ar seco frio.

Após a criação da máquina e um estudo de dez anos conclui-se: iremos vender o projeto por 13 000 €; o investimento saldado entre o terceiro e o quinto ano; com uma TIR de 9% e um VAL de 362 108,72 € será alcançado o lucro no sétimo ano.

#### REFERENCES

- [1] A. P. C. Amaral; “Estudo da secagem de maçãs: utilização de pré-tratamentos (Dissertação de Mestrado)”; UFRGS, Porto Alegre, 2014.
- [2] Terroni, Henrique; Jesus, Jéssika; Artuzo, Loredana; Ventura, Lucina; Santos, Roseli, (2013). Liofilização. Unilago, 271-284.
- [3] Duret, S., Hoang, M. H., Flick, D., & Laguerre, O. (27 de Janeiro de 2014). Experimental characterization of airflow, heat and mass transfer in a cold room filled with food products. ELSEVIER - Internatioonal Journal of Rr ef r ig er at ion, pp. 17-25. doi
- [4] P. M. Moreno; “Aislamiento, cálculo y construcción de câmaras frigoríficas(Dissertação de Mestrado)”; primera edición, Madrid, 1995.
- [5] S. F. Martins; “Avaliação da eficiência em pomares de macieira na região de Carrazeda de Ansiães” (Dissertação de Mestrado); Castelo Branco; Novembro de 2014.
- [6] N. G. Corrêa; “Efeito da velocidade de Congelamento sobre a Liofilização, Reidratação e Atributos de Qualidade de Fatias de Maçã ”; São José do Rio Preto; Março de 2013.





# *Estimativa da Produção de Capim Marandu em Sistemas Integrados*

Márcio Presumido Junior<sup>1</sup>

Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Tupã, Brasil.  
E-mail: presumidojr@gmail.com.

Leandro Souto de Oliveira<sup>2</sup>

Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Tupã, Brasil.  
E-mail: leandrosouto182@hotmail.com.

Alfredo Bonini Neto<sup>3</sup>

Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Tupã, Brasil.  
E-mail: bonini@tupa.unesp.br.

Pedro Henrique Presumido<sup>4</sup>

Departamento de Ambiente e Recursos Naturais - ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Londrina, Londrina, Brasil  
E-mail: pedrohpresumido@gmail.com

Larissa Oliveira Paulista<sup>5</sup>

Departamento de Ambiente e Recursos Naturais - ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Londrina, Londrina, Brasil  
larissa-paulista@hotmail.com

Carolina dos Santos Batista Bonini<sup>6</sup>

Faculdade de Ciências Agrônômicas e Tecnológicas, FCAT, Universidade Estadual Paulista, UNESP, Dracena, Brasil.  
E-mail: carolbonini@dracena.unesp.br

**Resumo** — O sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) tem a característica de integrar componentes da cultura de gramínea junto a animais herbívoros. A implantação deste sistema visa a sustentabilidade, procurando explorar o máximo da área, além de diminuir os impactos sobre as propriedades do solo. O presente trabalho tem por objetivo estimar a produção de capim marandu em um sistema ILPF através das Redes Neurais Artificiais (RNAs). Os dados de entrada da RNA foram os atributos físicos do solo, como densidade do solo, porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade) e a resistência mecânica a penetração. Já os dados de saída desejada, foram partes da produção do capim marandu, necessário para o treinamento da rede em diferentes épocas de colheita. Dos resultados, a rede se mostrou bem eficiente, com erro de treinamento baixo, em torno de  $10^{-4}$  entre a saída obtida e a desejada.

**Palavras chaves** — Inteligência artificial; física do solo; classificação; integração lavoura-pecuária-floresta

## I. INTRODUÇÃO

A pastagem é a principal fonte de alimento que o rebanho bovino brasileiro recebe e esta tem tido um aumento de produtividade, devido ao desenvolvimento de melhoramento genético, melhor manejo de doenças e pastagens com maior potencial produtivo [1]. Incentivo em sistemas que produzam menor emissão de gases do efeito estufa, como a pesquisa em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas agroflorestais, com utilização de fixação biológica de nitrogênio, reforma de pastagens e implantação de florestas tem aumentado com o decorrer do tempo [1].

Em 2012, o rebanho bovino brasileiro foi estimado em 211,279 milhões de cabeças, com redução de 0,7% em

comparação a 2011, com abate de 31,118 milhões de cabeças e produção de 7,351 milhões de toneladas de carne que passaram por inspeções sanitárias [2].

Segundo [3] as benesses da integração lavoura pecuária (ILP) têm sido associadas invariavelmente à redução de custos, aumento da eficiência do uso da terra, melhoria dos atributos físicos e químicos do solo, redução de pragas e doenças, aumento de liquidez e de renda. Contudo é questionável o fato dos animais causarem prejuízos nas características físicas do solo pelo efeito do pisoteio, pois o animal em si não compacta o solo, tudo depende da taxa de lotação empregada, da densidade animal no caso de lotação rotacionada, e da massa de forragem existente na pastagem, a qual se interpõe entre o casco do animal e a superfície do solo.

De acordo com [4] o sistema de pastagem contínua com *B. decumbens* cv. Basilisk com fertilização a cada dois anos, e o sistema de integração-lavoura-pecuária promovem mínimos impactos nas propriedades físicas do solo e não houve alteração na resistência a penetração e densidade do solo em locais com *Brachiaria decumbens* adubada cada dois anos e com lotação de 1,6 cabeças de gado por hectare, já outras espécies como a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu não possuem mesmo habito de preservar as propriedades físicas do solo quando comparada com a *Brachiaria decumbens* com fertilização de manutenção e *Panicum maximum* cv. Tanzânia implantado depois de quatro anos de soja.

Neste contexto, visando estimar a produção do capim marandu, neste trabalho foi desenvolvido uma Rede Neural Artificial (RNA) que utiliza como dados de entrada as propriedades físicas do solo e como saída desejada, partes da produção do capim marandu, necessário para o treinamento da

rede. A rede utilizada neste trabalho foi a retropropagação sem laços de realimentação com treinamento supervisionado.

As RNAs são sistemas computacionais adaptativos inspirados no processamento de informação realizado por neurônios biológicos. Neste sentido, RNAs mimetizam neurônios biológicos como sendo unidades de processamento simples, as quais têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Mais detalhadamente, uma RNA produz saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o seu treinamento, imitando, desta forma, a capacidade humana de aprender e generalizar fatos (padrões) [5] e [6].

Esses sistemas se assemelham ao cérebro humano de forma que os conhecimentos de ambos são adquiridos a partir do ambiente em um processo de aprendizagem dado pela força de conexão (pesos sinápticos) entre os neurônios, no cérebro, e entre as redes, nos sistemas [7].

Com isso, vários trabalhos têm sido publicados ao redor do mundo. No Brasil, [8] avaliaram o desempenho da RNA na predição da produtividade da cultura do feijão, na região fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, com base em variáveis morfológicas da cultura. Já em [9], foi analisado a recuperação de solos degradados via RNA.

Em [10] e [11] foi proposto um novo estudo comparativo utilizando redes neurais e lógica *fuzzy* para previsão da produção de trigo (*Triticum aestivum*).

No exterior, em [12] utilizaram as RNAs para mapeamento de solo e caracterização das propriedades do solo relevantes para o planejamento ambiental; em [13], manipularam as RNAs do tipo multicamadas com o objetivo de mapear solos de acordo com seus atributos.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados nesse trabalho foram obtidos do experimento realizado na Agência Paulista de Tecnologias dos Agronegócios – APTA do Extremo Oeste, no município de Andradina/SP de janeiro a dezembro de 2016 em solo classificado como Latossolo Vermelho.

As temperaturas mensais médias (mínimas e máximas) e os valores mensais de precipitação no experimento durante o ano de 2016 são mostrados na Figura 1 [14].

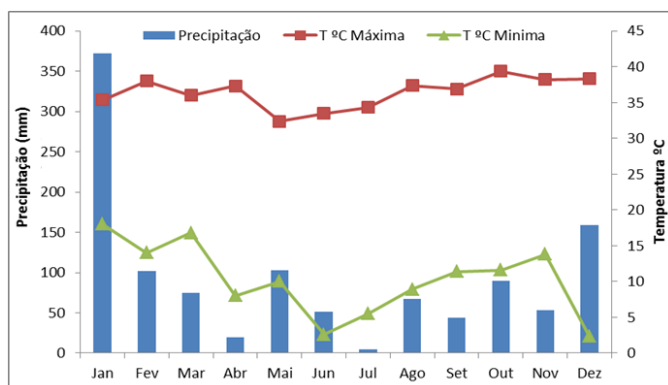


Figura 1. Valores mensais de precipitação (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) para o período de janeiro a dezembro de 2016. Andradina – SP.

A rede utilizada neste trabalho foi a *feed-forward* multicamadas sem laços de realimentação e com algoritmo de treinamento retropropagação (*backpropagation*), por isso a saída desejada. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e compostos por quatro tratamentos: T1 – integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo; T2 – sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 1 linha de eucalipto, com densidade de 200 árvores/há e T3 – sistema agrossilvipastoril, com sombreamento de 3 linhas de eucalipto, com densidade de 500 árvores/ha. A profundidade analisada foi de 0,0-0,2 m.

Uma rede neural típica é composta de  $n$  neurônios na camada de entrada,  $m$  neurônios na camada intermediária e  $i$  neurônios na camada de saída. Para este trabalho, a rede neural foi montada com  $n = 4$  (atributos físicos do solo),  $m = 10$  e  $i = 3$  (três colheitas do capim marandu), conforme ilustrado na Figura 2. Para a saída de cada neurônio na camada intermediária e na camada de saída, foi utilizado a função tangente hiperbólica  $f(u) = (1 - e^{-\lambda u}) / (1 + e^{-\lambda u})$  como função de ativação.

Também foi utilizado a função do erro quadrado médio (MSE - *Mean Square Error*) para a performance da rede, ou seja, verificar a diferença entre a saída obtida ( $Y_{ob}$ ) e a saída desejada ( $Y_{des}$ ).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{ob} - Y_{des})^2 \quad (1)$$

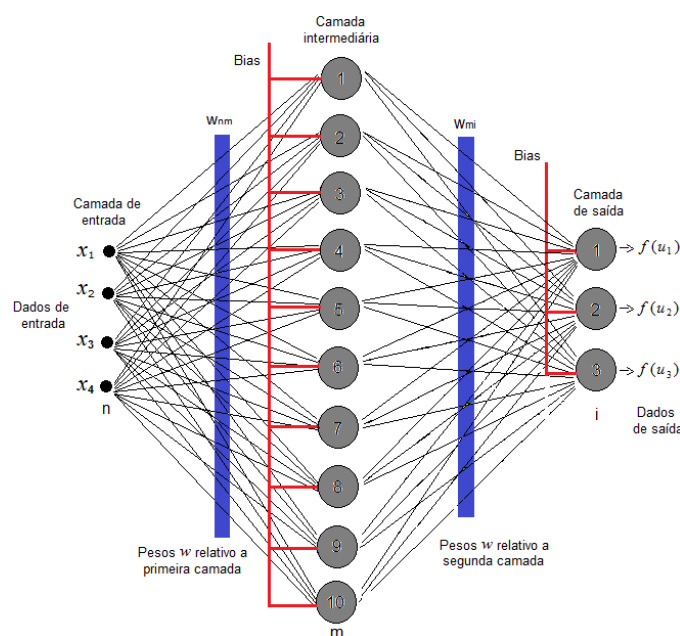


Figura 2. RNA utilizada neste trabalho.

Para melhor performance da rede em relação ao MSE, os dados de saída desejada foram normalizados por meio da equação (2) a seguir.

$$Y_{des} = \frac{Y_{des}^i}{\max(Y_{des}^i)} \quad (2)$$

com  $i = (1, 2, 3, 4, \dots, 12)$ .

Nesse trabalho, o algoritmo de treinamento retropropagação possui algumas modificações (aproximação do mínimo da função erro pelo método de Newton) denominado de Levenberg-Marquardt [15], o qual considera a aprendizagem da rede a partir de dados de entrada e suas respectivas saídas desejadas (alvo) [16]. Esse algoritmo é mais eficiente do que o algoritmo retropropagação padrão e suas variantes [17]. A Figura 3 apresenta o fluxograma desse algoritmo.

A ambiente utilizado para a implementação computacional da RNA, bem como para a obtenção dos resultados, foi o MATLAB [18]. Esta ferramenta permite o desenvolvimento de programas em uma linguagem de fácil assimilação, além de ser amplamente utilizada na engenharia.

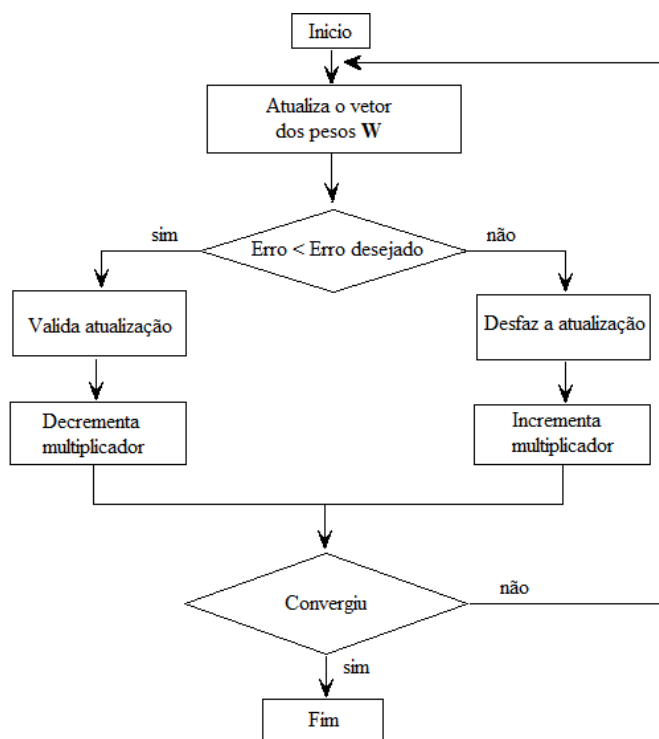


Figura 3. Fluxograma do algoritmo *backpropagation* Levenberg-Marquardt

### III. RESULTADOS

#### A. Treinamento da rede

O treinamento supervisionado, que é o adotado neste trabalho, consiste em conhecer um alvo a ser acertado para que a rede consiga adaptar seus pesos de modo que, posteriormente, no processo de operação, conhecido também como diagnóstico da rede, possa se classificar ou estimar dados que não fizeram parte no processo de treinamento. Portanto, pode-se dizer que, a aprendizagem de uma RNA se dá pelo ajuste de seus pesos,

$W_i$ , durante o treinamento e em função de dados de entrada cujas saídas são conhecidas.

Os dados das quatro entradas da RNA foram os quatro atributos físicos do solo, densidade do solo, porosidade do solo (macroporosidade e microporosidade) e a resistência mecânica a penetração. Já os três dados de saída desejada, foram a produção do capim marandu para as três primeiras coletas anuais (janeiro, abril e julho).

A gráfico da Figura 4 representa a performance da rede durante o treinamento, nota-se que para cada iteração o MSE foi diminuindo e na décima primeira iteração se tornou menor que 0.001 (valor pré-estabelecido na rede para o erro). O valor atingido foi de 0.000964 com 11 iterações e 2 segundos.

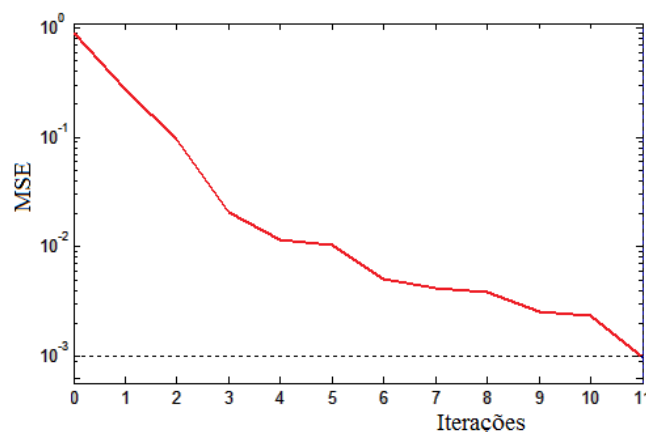


Figura 4. Performance do treinamento.

A Tabela I a seguir apresenta o desempenho da rede para o treinamento em número de iterações, erro da rede (performance) e o tempo de treinamento em segundos.

TABELA I. VALORES ESPECIFICADOS PARA O TREINAMENTO

Crítérios de parada	Valores pré-estabelecidos	Valores atingidos no treinamento da rede
Iterações	100	11
Erro	0.001	* 0.000964
Tempo (s)	20 S	2 S

\* critério atingido

A Figura 5(a), (b) e (c) apresenta os resultados do treinamento para cada uma das três coletas (janeiro, abril e julho), nota-se que a saída obtida ( $Y_{ob}$ ) é praticamente igual a saída desejada ( $Y_{des}$ ) para todos os gráficos, com erro médio de  $9.64 \times 10^{-4}$ , acarretando em um bom treinamento. Outro fator importante que pode ser observado na Figura 5, é a produção de capim marandu em função dos tratamentos utilizados (T1, T2 e T3). Nota-se que para o T1 (integração lavoura-pecuária, sem o componente arbóreo), houve maior produção para todas as três épocas da coleta dos dados e a rede também comprovou esse resultado na saída obtida  $Y_{ob}$ .

Para validação da rede, a Figura 6 descreve a relação entre as variáveis  $Y_{des}$  (saída desejada) e  $Y_{ob}$  (saída obtida) com  $m=10$ . Observa-se que o valor do  $R^2$  médio é de 0.965 respectivamente, mostrando que 96% da variável  $Y_{ob}$  consegue ser explicada em relação a  $Y_{des}$ , ou seja, mais homogêneo são os dados (PAGANO e GAUVREAU, 2012).

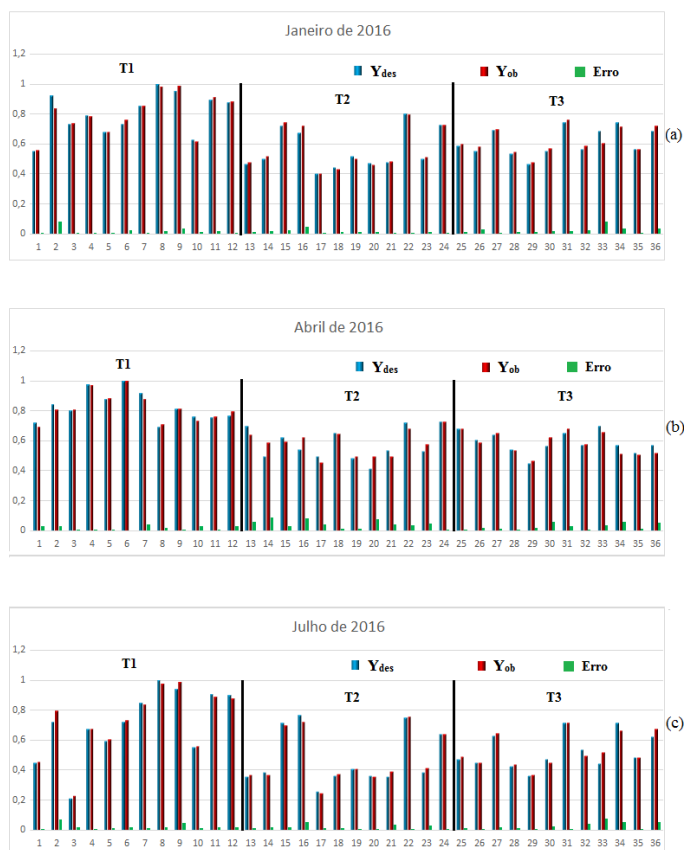


Figura 5. Processo de treinamento da rede, (a) Amostras de janeiro de 2016, (b) Amostras de abril de 2016 e (c) Amostras de julho de 2016.

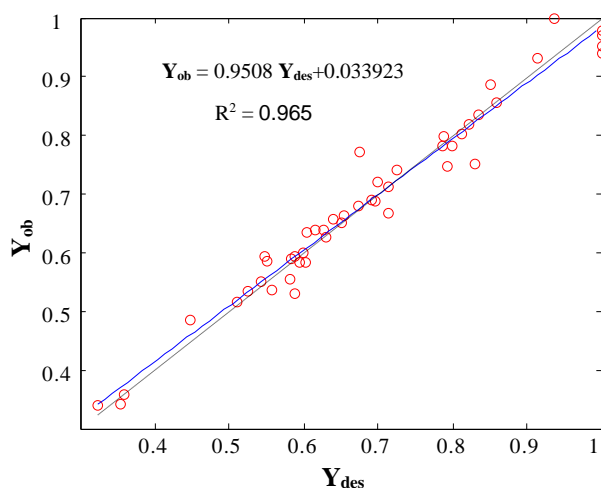


Figura 6. Análise de regressão entre as variáveis saída desejada ( $Y_{des}$ ) e saída obtida ( $Y_{ob}$ )

### B. Diagnóstico da rede

Para a fase de teste, foi adicionado na rede 36 amostras que não fizeram parte do treinamento referente a coleta de outubro de 2016, para que a rede possa classificar a produção. A Figura 7 apresenta esses resultados. Observa-se que o erro ficou em torno de 0.00134 para o teste mostrando que a rede pôde classificar amostras que não fizeram parte do treinamento.

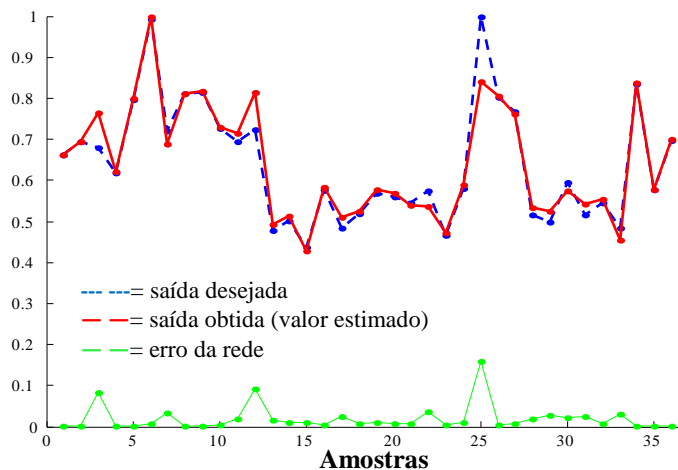


Figura 7. Amostras de outubro de 2016 para teste da rede.

## CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido uma RNA para estimar produção de capim marandu em função dos atributos físicos do solo e tratamentos (T1, T2 e T3).

Pode-se observar que a rede está pronta para fase de diagnóstico, ou seja, estimar valores de amostras (atributos físicos em solos classificados como Latossolo Vermelho) que não fizeram parte do treinamento.

Dos resultados, nota-se que a rede teve um bom treinamento, com erro quadrado médio em torno de  $9.64 \times 10^{-4}$  em relação as saídas e para a fase de teste o erro ficou em torno de  $1.34 \times 10^{-3}$ .

## AGRADECIMENTOS

As Faculdades, Faculdade de Ciências e Engenharia, FCE e Faculdade de Ciências Agrônômicas e Tecnológicas, FCAT ambas da Universidade Estadual Paulista, UNESP.

## REFERÊNCIAS

- [1] MAPA. Plano agrícola e pecuário 2014/2015: relatório do ano de 2014. Brasil. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2014. 91p. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/PAP%202014-2015.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/PAP%202014-2015.pdf)>. Acesso em: 11 agosto 2015.
- [2] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Pecuária Municipal. Relatório do ano de 2012. Brasil: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. 2012. v. 40. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Producao\\_da\\_Pecuaria\\_Municipal\\_2012ppm2012.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Producao_da_Pecuaria_Municipal_2012ppm2012.pdf)> Acessado em: 11 agosto 2015.
- [3] CARVALHO, P. C. DE F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A.; TREIN, C. R.; FLORES, J. P. C.L.; CEPIK, C. T.C.; LEVIEN, R.; LOPES, M. T.; BAGGIO, C.; LANG, C. R.; SULC, R. M.; PELISSARI, A. O estado da

arte em integração lavoura-pecuária. In: GOTTSCHALL, C. S.; SILVA, J. L. S.; RODRIGUES, N. C. (Org.). Produção animal: mitos, pesquisa e adoção de tecnologia. Canoas-RS, p.7-44, 2005.

- [4] BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C.M.; TORMENA, C.A. Qualidade física do solo em um latossolo vermelho da região sudoeste dos cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 37, p. 743-753. 2013.
- [5] ELIASMITH C., ANDERSON C. H. *Neural engineering: Computation, representation, and dynamics in neurobiological systems*. MIT Press, Cambridge, MA, 2003.
- [6] KOVACS Z. L. *Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Aplicações: Um texto básico*. 4ª ed. Editora Livraria da Física. 177 p., 2006.
- [7] HAYKIN S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. 2. ed. Tsinghua University Press. 2001.
- [8] SOARES F. C., RUSSI J. L., ROBAINA A. D., PEITER M. X., PARIZI A. R. C. Uso de Rede Neural Artificial para predição da produção na cultura do feijoeiro. In: XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. p. 1-7. 2014.
- [9] BONINI NETO, A.; BONINI, C. S. B.; BISI, B. S.; DOS REIS, A. R.; COLETTA, L. F. S. Artificial neural network for classification and analysis of degraded soils. *Revista IEEE América Latina*, v. 15, n. 3, p. 503-509, 2017.
- [10] SILVA A. A. V., SILVA I. A. F., TEIXEIRA FILHO M. C. M., BUZETTI S., TEIXEIRA M. C. M. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neurofuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso)*, v. 18, p. 180-187, 2014.
- [11] SILVA I. A. F. *Aplicações de Redes Neurais e NeuroFuzzy em Engenharia Biomédica e Agronomia*. 2014, 80 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2014.
- [12] BEUCHERA, A.; SIEMSEN, R.; FRÖJDÖ, S.; ÖSTERHOLMA, P.; MARTINKAUPPIB, A. and EDÉN, P. Artificial neural network for mapping and characterization of acid sulfate soils: Application to Sirppujoki River catchment, southwestern Finland. *Geoderma*. v. 247–248, p. 38–50, 2015.
- [13] SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C.; SANTOS, L. J. C.; SIRTOLI, A. E.; SILVA, C. R.; BOTELHO, M. F. Soil prediction using artificial neural networks and topographic attributes. *Geoderma*, v. 195–196, p. 165-172, 2013.
- [14] CIIAGRO. Centro integrado de informações agrometeorológicas. Mapas da resenha agrometeorológica. Andradina, SP. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/menuresenha.htm>. Acesso em: 03 de agosto de 2016.
- [15] HAGAN, M. T.; MENHAJ, M. B. Training feedforward networks with the marquardt algorithm. *IEEE Transactions on Neural Networks*, v.5, n.6, p. 989-993, 1994.
- [16] BRAGA, A. DE P.; CARVALHO, A. P. DE L. F. DE; LUDERMIR, T. B. *Redes neurais artificiais: teoria e aplicações*. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2007.
- [17] LIU, Y. Calibrating an industrial microwave six-port instrument using artificial neural network technique. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, v.45, n.2, p. 651-656, 1996.
- [18] MATHWORKS. MATLAB (MATrix LABoratory) Disponível em: <http://www.mathworks.com>. Acesso em 21 de maio de 2016.





# Simulação do Tratamento de Águas Residuais Urbanas por um Sistema de Lamas Ativadas

(1)Laís Daleffe

Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campo Mourão-PR, Brasil, [lais\\_daleffe@hotmail.com](mailto:lais_daleffe@hotmail.com)

(2)Rafael Oliveira

Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) Campo Mourão-PR, Brasil, [rafaeloliveira@utfpr.edu.br](mailto:rafaeloliveira@utfpr.edu.br)

(3)Manuel Feliciano

Centro de Investigação de Montanha, ESA, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253, Bragança, Portugal [msabenca@ipb.pt](mailto:msabenca@ipb.pt)

**Resumo**— A modelação matemática do tratamento de águas residuais tem sido uma ferramenta de enorme utilidade nas fases de projeto e de exploração das estruturas de tratamento. Neste artigo apresenta-se um estudo que teve por objetivo a construção de um modelo global do tratamento de uma ETAR urbana da região norte de Portugal, com vista a avaliar e otimizar o seu desempenho. O modelo foi construído em WRC STOAT 5.0, tendo-se descrito o processo de lamas ativadas pelo modelo de referência ASAL3. A calibração e a verificação do modelo foi efetuada com base em dados experimentais. O modelo foi ainda utilizado para avaliar a qualidade do efluente em resposta a alterações do caudal e composição do afluente, a alterações de condições operatórias e a outras alternativas de tratamento. O modelo mostrou-se bastante adequado na descrição da evolução mensal da qualidade do efluente final da ETAR relativamente aos parâmetros Sólidos Suspensos Totais (SST) e Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO<sub>5</sub>). Em relação ao azoto total, os valores simulados aproximaram-se dos valores médios reais, quando se aumentaram as taxas de recirculação interna para 400%, um fator de cerca de 4 vezes superior às taxas de recirculação utilizadas na ETAR. A comparação entre valores reais e simulados demonstram que a ETAR apresenta um bom desempenho em relação à remoção de SST e CBO<sub>5</sub>. Quanto à remoção de azoto o comportamento da ETAR não é tão consistente ao longo do ano, mas é razoavelmente bom face às condições operatórias.

**Palavras-chave:** Águas residuais urbanas, lamas ativadas, modelação matemática.

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas aquáticos não devem ser usados como um recetor direto ou indireto, de descargas de poluentes, de modo a não se tornarem num fator de risco para a saúde humana, nem colocar em causa a sobrevivência dos organismos que nela vivem e de todos os seres vivos que destes dependem [1]. As águas residuais domésticas, urbanas e industriais contêm uma elevada carga de poluição de natureza química como compostos orgânicos, nutrientes, substâncias tóxicas e agentes patogénicos [2]. Por esta razão, antes de serem descarregadas

nos meios hídricos, devem ser recolhidas por um sistema de drenagem e encaminhadas para estações de tratamento especializadas, capazes de eliminar ou reduzir a carga de material indesejável presente na água, como está estabelecido na Directiva Tratamento de Águas Residuais Urbanas, adotada em maio de 1991 (Diretiva 91/271/CEE).

Uma estação modelo de tratamento de águas residuais (ETAR) integra um conjunto de operações físicas e processos químicos e biológicos envolvidos na purificação dessas águas, convertendo-a num fluxo material inócuo ou menos prejudicial para o ambiente e para o Homem.

Os processos biológicos mais conhecidos são os designados por lamas ativadas, leitos percoladores e as lagoas arejadas [3;4]. Entre estes, o processo de lamas ativadas é o mais usado em todo o mundo. Este processo de oxidação aeróbia, foi desenvolvido para remover o carbono orgânico, mas atualmente tem sido adaptado à remoção biológica de nutrientes (azoto e fósforo) [5;6] para atender aos limites de descarga.

O tratamento biológico, por lamas ativadas ou por outros processos, é todavia influenciado por vários fatores que alteram o funcionamento e a eficiência do processo, como a temperatura, pH, oxigénio dissolvido (OD), entre outros, e geralmente é difícil perceber onde está efetivamente o problema [7;8]. A modelação e simulação matemática dos sistemas de tratamento de águas residuais têm contribuído de forma indelével para a compreensão, a conceção e otimização do funcionamento de estações de tratamento de águas residuais por lamas ativadas ou por outros processos [9;10].

Atualmente existe um conjunto de modelos matemáticos capazes de simular dinamicamente os processos envolvidos numa ETAR, como também os fatores que os afetam consideravelmente, auxiliando não só na fase de projeto, mas também na fase de exploração [11]. Os mais usados e mais conhecidos são de longe os modelos ASM (Activated Sludge Models) [12;10]. Outra tipologia de modelos reportada na literatura são os modelos ASAL [13;10] e o TUDP [14]. A maior parte destes modelos são capazes de simular a remoção

de matéria orgânica, de azoto e de fósforo por métodos biológicos e físico-químicos [15;16].

Deste modo, o estudo que se apresenta neste artigo visou avaliar o tratamento de uma ETAR urbana sita no norte de Portugal, com recurso a uma ferramenta de modelação, procurando melhorar o conhecimento dos processos biológicos e ainda identificar condições que possam contribuir para um desempenho mais eficiente da mesma.

## II. METODOLOGIA

### A. Constituição e Funcionamento da ETAR

A ETAR que foi objeto de estudo é constituída por quatro distintas linhas de tratamento: linha líquida, linha de lamas, linha de biogás e linha de desorização. A linha líquida inclui: a gradagem, desarenamento e desengorduramento, onde são removidos os sólidos grosseiros, as areias e as gorduras, respectivamente; a decantação primária levada a cabo por três sedimentadores primários, onde a carga de poluição é reduzida através da remoção dos sólidos sedimentáveis; e ainda um tratamento biológico por lamas ativadas com desnitrificação (i.e. tratamento biológico do tipo Ludzack-Ettinger modificado). Neste sistema, a água residual passa por uma etapa inicial de anoxia, onde ocorre a desnitrificação que permite a eliminação de nitratos. Depois, o efluente é encaminhado para os dois tanques aeróbios em quantidades proporcionais às suas dimensões, onde decorre a nitrificação do azoto amoniacal a nitratos e a oxidação bioquímica da matéria orgânica iniciada na zona anóxica. Os nitratos (ou parte deles) produzidos nesta etapa de aerobiose são recirculados para a fase de anoxia (recirculação interna) para poderem ser transformados em azoto molecular. Da etapa aeróbia, o efluente segue para os clarificadores secundários, para se processar a separação sólido-líquido. Uma fração da parte sólida é recirculada para o tanque anóxico e a outra é extraída do sistema para o poço da estação elevatória de lamas mistas, onde será misturada com as lamas primárias e encaminhadas para a linha de tratamento de lamas.

A linha de lamas é constituída por espessamento gravítico das lamas primárias e secundárias, a digestão anaeróbia e a desidratação mecânica em filtro de bandas. O sobrenadante proveniente destas unidades de tratamento/desidratação de lamas é encaminhado para o início do tratamento primário e as lamas estabilizadas e secas têm um destino final adequado. A linha de biogás/cogeração consiste na produção anaeróbia de biogás, no seu armazenamento no gasómetro, e no seu aproveitamento como energia térmica ou elétrica ou simplesmente na sua queima com recurso a um *flare*, em função da concentração de metano no biogás.

Finalmente, a linha de desodorização possibilita a extração e tratamento do ar contaminado, proveniente dos espessadores gravíticos e dos edifícios de desidratação de lamas e de energia, com recurso à adsorção em filtro de carvão ativado.

Na Tabela 1 apresentam-se as características médias do afluente à ETAR e as condições operatórias prevalecente para o período estudado (janeiro a outubro de 2015).

### B. Construção e Configuração do Modelo da ETAR de Estudo

O modelo da ETAR foi construído com recurso ao software WRc STOAT 5.0. Este software, além de ter distribuição livre e sem custos, é amplamente utilizado por outros investigadores que reconhecem a sua fiabilidade em simulações de sistemas de lamas ativas.

TABELA I. Características médias do afluentes à ETAR e condições operatórias prevaletentes para o período estudado.

Parâmetro	Unidade	Valor
<b>Caudal de afluente (Q)</b>	m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	5064
<b>Concentrações do afluente</b>		
SST	mg L <sup>-1</sup>	320
SSV	mg L <sup>-1</sup>	290
CQO	mg L <sup>-1</sup>	580
CBO <sub>5</sub>	mg L <sup>-1</sup>	260
Nt	mg L <sup>-1</sup>	90
<b>Parâmetros Operatórias</b>		
Concentração de MLSS	mg L <sup>-1</sup>	4800
Recirculação de Lamas	%Q	74
Recirculação Interna	%Q	106
Concentração MLSS nas lamas recirculadas	mg L <sup>-1</sup>	6500
OD nos tanques aeróbios	mg L <sup>-1</sup>	1.1

### B. Construção e Configuração do Modelo da ETAR de Estudo

O modelo da ETAR foi construído com recurso ao software WRc STOAT 5.0. Este software, além de ter distribuição livre e sem custos, é amplamente utilizado por outros investigadores que reconhecem a sua fiabilidade em simulações de sistemas de lamas ativas.

Na fig. 1 apresenta-se o modelo que representa o sistema real de tratamento. A estrutura do modelo desvia-se ligeiramente da estrutura do sistema real, pelo facto de se ter representado o tratamento biológico por duas linhas de tratamento do tipo *Ludzach-Ettinger modificado*, ou seja, o único tanque anóxico da ETAR foi representado no modelo por dois reatores anóxicos e os três decantadores secundários por dois tanques de sedimentação. Esta forma de representar o sistema real foi condicionada pelo ambiente de simulação usado, mas em termos de modelação, esta adaptação não comprometeu em nada a representação do sistema real.

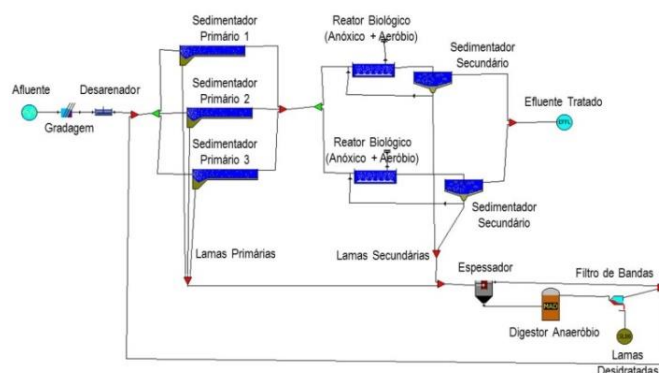


Fig. 1. *Modelo em WRc STOAT da ETAR.*

O modelo escolhido para os tanques foi o ASAL3, por ser mais facilmente adaptado à realidade dos inputs disponíveis relativamente ao afluente. O modelo usado para a sedimentação primária foi o da CBO, disponibilizado pelo STOAT, e para os decantadores secundários utilizou-se o modelo ASAL3.

### III. RESULTADOS

#### A. Calibração do Modelo

A precisão do modelo foi avaliada com base na sua capacidade para simular a qualidade do efluente, ainda que se tenha verificado também a sua capacidade para simular outras variáveis como a concentração das lamas nos reatores biológicos e nas lamas de recirculação.

Para a calibração do modelo utilizaram-se os dados disponíveis para o mês de junho de 2015.

A comparação entre os valores simulados e os reais de SST e CBO<sub>5</sub> para diferentes dias do mês de junho encontram-se na fig. 2 e na Tabela II avalia-se o grau de comparabilidade entre os valores reais e os valores simulados, através de vários parâmetros estatísticos: o coeficiente de correlação, o desvio médio, a raiz quadrada do erro médio quadrático e o índice de concordância. Para o azoto não se apresentam os resultados da calibração pelo facto de ter sido disponibilizada informação apenas para dois dias do mês.

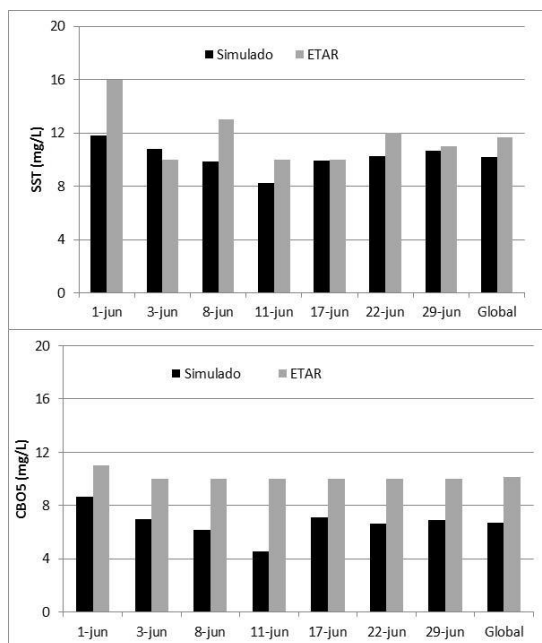


Fig. 2. Comparação entre os valores simulados e os reais de SST e CBO<sub>5</sub> do efluente final da ETAR, para diferentes dias do mês de junho. Os valores globais do mês também são apresentados.

Os resultados obtidos mostram alguma discrepância entre valores experimentais e simulados, em particular para a CBO<sub>5</sub>, para o qual o desvio das médias é de 3,42 mg/L. Para o parâmetro SST no efluente final, o modelo também subestima

os valores de SST em cerca de 1,5 mg/L, mas existe um ajustamento mais razoável entre os valores simulados e os experimentais, como é possível ver pela magnitude dos parâmetros estatísticos da Tabela II.

TABELA II. Parâmetros estatísticos calculados para avaliar a qualidade dos valores simulados com base nos dados experimentais de junho de 2015.

Parâmetro	Valores aceitáveis	Valor ideal	SST	CBO <sub>5</sub>
r	-1 a 1	1	0,61	0,70
DM	$-\infty$ a $+\infty$	0	-1,49	-3,42
RMSE	0 a $+\infty$	0	2,21	3,54
d	0 a 1	1	0,58	0,13

Apesar das tentativas em ajustar os principais parâmetros cinéticos e estequiométricos, dentro das gamas aceitáveis, o modelo revelou-se sempre muito pouco sensível a essas alterações e, por essa razão, todos os parâmetros cinéticos e estequiométricos foram mantidos inalterados. No processo foram adotados os três princípios básicos de calibração aduzidos por [17]: (1) alterar apenas um parâmetro de cada vez; (2) existem parâmetros que nunca devem ser alterados, na medida em que a sua variação é negligenciável em termos de modelação; (3) se o modelo não se revelar sensível à alteração de um determinado parâmetro, este não deve ser alterado.

As diferenças encontradas justificam-se, sobretudo, pelo facto de o modelo representar relativamente bem a ETAR em condições ideais, sendo particularmente difícil ajustar algumas imperfeições que possam existir ao nível do regime hidráulico e das condições de arejamento, que exercem uma influência determinante.

#### B. Verificação do Modelo

Com o sistema calibrado, procedeu-se à realização de simulações e respectiva avaliação para o período de fevereiro a outubro (Fig. 3). Foram realizadas três simulações distintas:

- As simulações1 (S1) foram realizadas nas mesmas condições das que conduziram ao modelo calibrado;
- As simulações2 (S2) diferem das simulações1 por considerarem a taxa de recirculação interna de 130% (valor próximo do valor médio em alguns meses);
- As simulações3 (S3) diferem das simulações2 por a taxa de recirculação interna ter sido estabelecida em 400%.

Todas as simulações reproduziram bem as concentrações do efluente tratado em relação aos SST, sobretudo de julho a outubro, mas subestimam os valores entre fevereiro e maio. Em relação à CBO<sub>5</sub>, o padrão de variação definido pelos valores simulados segue de certa forma o definido pelos valores reais, mas subestima as concentrações para todo o período estudado. Para o azoto total, o modelo dá também uma excelente resposta a nível do padrão de variação mensal, em particular quando obtidos pela S3. A S1 e a S2 apresentam um perfil similar, mas sobrestimam os valores de azoto total.

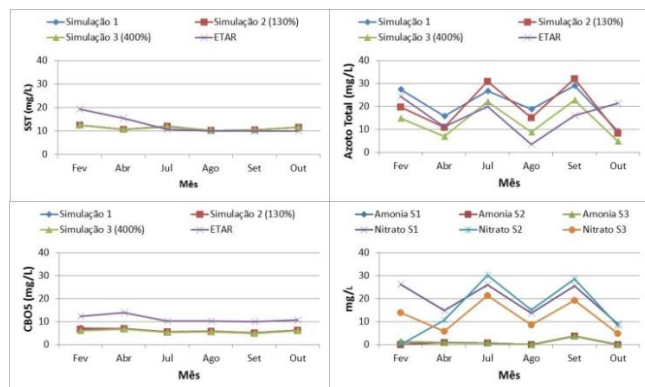


Fig. 3. Comparação entre valores simulados e valores reais de SST, CBO<sub>5</sub> e azoto total do efluente final da ETAR, para diferentes meses de 2015.

As baixas recirculações internas não permitem que todo o nitrato seja desnitrificado e daí as simulações S1 e S2 conduzirem a descargas de azoto total mais elevadas do que o verificado para as simulações S3. As simulações deixam assim antever que o aumento das taxas de recirculação interna se traduzem em melhoria do desempenho da ETAR em termos de remoção de azoto total, em particular de nitratos.

As diferenças encontradas podem ter várias causas, mas certamente refletem os vários fatores que condicionam o desempenho do processo de lamas ativadas. Entre os mais importantes temos os relacionados com a atividade biológica dos microorganismos, com as propriedades da própria lama ativada (licor misto), com as perturbações hidráulicas, que afetam sobretudo a capacidade do clarificador em separar e concentrar as lamas activadas do efluente e, ainda, com as condições do arejamento.

Indiretamente é possível introduzir no modelo alguns dos efeitos destes fatores, mas ao não se proceder a essas alterações, o modelo é uma representação do sistema real em condições ideais e, portanto, é natural que apresente resultados ligeiramente melhores. Em relação ao azoto, o modelo sobrestima as concentrações de Nt no efluente, mas os resultados corroboram o reportado na literatura para um sistema pré-anóxico Ludzack-Ettinger modificado.

### C. Análise de Cenários

Com o objetivo de avaliar a influência de um conjunto de fatores ambientais e operatórias, foram realizadas várias simulações com o intuito de avaliar a resposta do sistema. Para simplificar esta análise, as simulações apresentadas nos pontos *i* e *ii* tiveram por base o mês de maio.

#### i. Cenários de Variação de Caudal e Concentrações

O objetivo destes cenários foi avaliar a resposta da ETAR a variações de caudal e da composição do afluente. Assumiram-se duas situações para o caudal do afluente, uma em que o caudal se reduz a metade e a outra em que o caudal aumenta para o dobro. Em relação à influência da

concentração de SST, CBO<sub>5</sub> e Azoto Total, também se adoptou um procedimento similar. Numa terceira situação consideraram-se todas as variáveis em conjunto, reduzindo-as a metade e aumentando-as para o dobro, alterando igualmente os caudais de recirculação de lamas e de recirculação interna de forma proporcional.

TABELA III. Concentrações de SST, CBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação do caudal e das concentrações do afluente.

Alterações do Caudal e Concentrações do Afluente	Concentrações no Efluente da ETAR (mg /L)				
	SST	CBO <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Nt
<b>Variação do Caudal</b>					
100%	11.91	7.09	1.67	13.04	15
50%	6.63	4.43	0.22	12.9	13
200%	92.14	44.98	12.34	8.87	21
<b>Variação das concentrações de SST, CBO<sub>5</sub> e Azoto</b>					
100%	11.91	7.09	1.67	13.04	15
50%	8.99	5.82	0	13.14	13
200%	12.7	8.71	20.19	19.21	39
<b>Variação do Caudal e das concentrações</b>					
50%	5.26	2.72	0	12.03	12
200%	83.15	73.2	65.48	3.71	69

A partir dos resultados obtidos, constata-se que o aumento dos caudais diminui as eficiências de tratamento dos parâmetros avaliados, em especial de SST. O aumento das concentrações conduz a uma ligeira perda de eficiência a nível dos sólidos e da CBO<sub>5</sub>, mas pode comprometer seriamente a remoção do azoto total, motivada ora por nitrificações ora por desnitrificações incompletas.

A ocorrência de aumentos de caudal e das concentrações traduz-se na situação mais crítica, com perdas consideráveis de eficiência em relação a este parâmetro de qualidade. É importante adotar medidas capazes de solucionar caudais de picos, como a utilização de bacias de equalização, é um dos métodos mais eficazes para minimizar os efeitos desses picos de caudal no tratamento primário e secundário.

#### ii. Cenários de Variação de Condições Operatórias

Para os cenários das alterações das condições operatórias foram estudadas as influências de três parâmetros/processos na qualidade do efluente da ETAR: recirculação de lamas; a recirculação interna; os níveis de oxigénio no reator aeróbio. Os resultados encontram-se nas Tabelas IV, V e VI.

Em relação à recirculação de lamas, fizeram-se várias simulações em que se procedeu à variação das taxas relativamente ao valor de referência (100%), tendo-se simulado para taxas de 25% até 125%. Em geral, os resultados revelaram que o aumento da taxa de recirculação de lamas conduziu a uma diminuição da remoção de SST, a um aumento da remoção de azoto, e não afetou a remoção de CBO<sub>5</sub>.

TABELA IV. Concentrações de SST, CBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação das taxas de recirculação de lamas.

Taxas de Recirculação de Lamas	Concentrações do Efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Nt
25%	13,2	9,20	15,26	9,31	24,57
50%	14,46	9,33	6,70	11,86	18,56
75%	15,85	9,49	3,68	12,09	15,77
100%	17,05	9,52	2,42	11,70	14,12
125%	18,31	9,95	1,84	11,14	12,98

TABELA V. Concentrações de SST, CBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação das taxas de recirculação interna.

Taxas de Recirculação Interna	Concentrações do efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Nt
100%	11.86	7.36	1.1	14.55	15.7
200%	11.89	7	1.15	11.54	12.7
300%	11.87	6.92	1.18	8.96	10.1
400%	11.86	6.87	1.65	7.63	9.28

TABELA VI. Concentrações de SST, CBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N e Azoto Total do efluente da ETAR em função da variação dos níveis de Oxigénio Dissolvido do reator aeróbio.

Variações de O.D no Tanque Aeróbio	Concentrações do Efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	CBO <sub>5</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	Nt
25%	12.01	8.19	22.66	5.48	28.14
50%	11.95	7.48	9.82	9.92	19.74
75%	11.92	7.21	3.71	12.2	15.91
100%	11.91	7.09	1.67	13.04	14.71
125%	11.91	7.03	1.04	13.31	14.35
150%	11.9	6.99	0.78	13.42	14.2
200%	11.9	6.95	0.55	13.52	14.07

Em relação à recirculação de lamas, fizeram-se várias simulações em que se procedeu à variação das taxas

relativamente ao valor de referência (100%), tendo-se simulado para taxas de 25% até 125%. De um modo geral, os resultados revelam que à medida que se aumentou a taxa de recirculação de lamas, a remoção de azoto total aumentou, a remoção de CBO<sub>5</sub> manteve-se praticamente inalterada e a remoção de SST diminuiu. Atendendo às eficiências de tratamento e às poupanças energéticas resultantes de uma taxa de recirculação mais baixa, este simples cenário suporta o valor aplicado na ETAR para o mês de base.

No que concerne ao estudo da influência da recirculação interna, os resultados mostram que apenas os níveis de azoto são substancialmente alterados. Ainda que este efeito pareça baixo nas concentrações de azoto total, constata-se que a quadruplicação do caudal de recirculação interna se traduz numa diminuição das concentrações de Nt de aproximadamente 40%, que pode ser fundamental quando está em causa o cumprimento legal relativamente a este nutriente. Neste caso em particular, o valor usado na ETAR apresenta-se como o mais adequado para atingir os objetivos de tratamento em relação a SST e CBO<sub>5</sub>.

Em relação ao oxigénio dissolvido, verifica-se que o aumento dos níveis de oxigénio no tanque aeróbio melhora a eficiência de tratamento, sendo particularmente significativa para o azoto total. Curiosamente, o aumento do O.D. no reator aeróbio tem um efeito negativo na desnitrificação, que advém do facto de as recirculações de lamas e interna disponibilizarem oxigénio no reator anóxico, reduzindo as taxas de desnitrificação. Os resultados das simulações indicam também que os valores usados na ETAR são os adequados, se a remoção de azoto não for priorizada.

### iii. Outro cenários

Um cenário que se pretendeu estudar consistiu na reconversão do tratamento biológico do tipo Ludzack Ettinger modificado num sistema de Lamas Ativadas convencional. O estudo deste cenário foi apenas com o objetivo de avaliar as diferenças entre sistemas combinados de remoção de matéria orgânica e azoto e os sistemas simples de lamas ativadas que somente conseguem a remoção de matéria orgânica e azoto amoniacal, já que a ETAR não está obrigada a cumprir o limite de descarga de azoto total. Os resultados encontram-se na Tabela VII.

Ao observar os resultados obtidos e comparando com os históricos da ETAR, verificou-se que, de um modo geral, este sistema mostrou-se eficiente na remoção de SST e CBO<sub>5</sub>. É também eficiente na remoção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, mas como não possui qualquer tanque anóxico, o efluente sai com uma elevada carga de nitratos, podendo comprometer o equilíbrio químico e ecológico dos sistemas aquáticos.

Os sistemas pré-anóxicos são de facto utilizados para remover azoto, mas apresentam algumas vantagens relacionadas quer com a redução das necessidades de oxigénio e de energia, porque a CBO é removida pela desnitrificação, quer com a redução da produção de lamas, porque as bactérias obtêm menos energia, quando usam uma forma oxidada de azoto como aceitador de eletrões, em comparação com as que usam o O<sub>2</sub>.

TABELA VII. Concentrações simuladas de SST,  $\text{CBO}_5$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  e Nt do efluente final da ETAR para um sistema de lamelas ativadas convencional do tipo CSTR.

	Concentrações do Efluente da ETAR (mg/L)				
	SST	$\text{CBO}_5$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	Nt
<b>Fevereiro</b>	13.55	7.87	0.55	50.54	51.1
<b>Março</b>	11.15	6.46	0.47	61.06	61.5
<b>Abril</b>	11.38	7	0.5	30.11	30.6
<b>Mai</b>	12.02	7.45	0.53	38.88	39.4
<b>Junho</b>	11.68	7	0.35	52.86	53.2
<b>Julho</b>	12.24	7.28	0.48	85	85.5
<b>Agosto</b>	11	6.4	0.11	45.15	45.3
<b>Setembro</b>	11.48	6.33	0.9	85	85.9
<b>Outubro</b>	12.41	6.65	0.08	23.7	23.8

#### IV. CONCLUSÕES

O tratamento de águas residuais urbanas é de complexidade elevada, em virtude do grande número de fatores que atuam sobre as várias etapas ao longo da linha de tratamento, em especial da etapa de tratamento biológico. A modelação matemática dos processos envolvidos nas diferentes etapas de tratamento, juntamente com os ambientes de simulação específicos, têm sido ferramentas essenciais no apoio aos especialistas a nível do projeto e da exploração de estações de tratamento.

Apesar das imensas dificuldades e das limitações que os modelos atuais ainda possuem, o modelo foi capaz de simular o tratamento da ETAR, avaliando-o em termos de eficiência de remoção de SST,  $\text{CBO}_5$  e Azoto Total. Em relação ao Azoto Total, o modelo não foi suficientemente capaz de explicar as elevadas eficiências da ETAR, mas identificou a remoção do Azoto como o ponto ou um dos pontos mais críticos da ETAR.

De um modo geral a ETAR apresenta um desempenho excelente para a remoção de SST e de matéria orgânica carbonácea, mas pode e deve melhorar a remoção de azoto.

Um dos aspetos mais críticos relacionados com a utilidade e a fiabilidade dos modelos advém da qualidade dos seus *inputs* e da calibração dos mesmos. A utilização de dados recolhidos rotineiramente nas ETARs não configura a situação ideal, mas com o presente estudo demonstra-se, mais uma vez, que são ferramentas que podem ser de elevada utilidade no dia-a-dia de qualquer gestor de ETAR. Em trabalhos futuros, seria interessante aprofundar outros aspetos como:

- procurar encontrar alternativas de tratamento eficientes e viáveis de remoção de azoto total;
- proceder a uma calibração mais rigorosa do modelo, com a realização de uma ou mais campanhas intensivas de medição e realização de ensaios laboratoriais para recolha de dados relevantes para a calibração/validação do modelo;
- realizar simulações dinâmicas recorrendo a séries de

entrada contínuas em termos de quantidade e qualidade. Estas séries de dados podem ser obtidas a partir dos dados dicretos disponíveis e transformados, através da utilização de séries de Fourier ou de outros procedimentos já aplicados e descritos na literatura;

- utilizar a modelação como ferramenta de base para avaliar a sustentabilidade ambiental de estratégias/alternativas de tratamento.

#### V. REFERENCIAS

- [1]. UNEP. 2010. Clearing the Waters. A focus on water quality solutions. United Nations Environment Programme. UNON, Publishing Services Section, Nairobi.
- [2]. Henze, M., Comeau, Y., 2008. Wastewater characterisation. In: Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D. (Eds.), Biological Wastewater Treatment: Principles, Design and Modelling. IWA Publishing, London.
- [3]. Cheremisinoff, N. P. 2011. Waste: A Handbook for Management. Trevor Letcher and Daniel Vallero. Pages 487 – 502.
- [4]. Russel, D. L. 2006. Practical wastewater treatment. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [5]. Neumann M. B., Rieckermann J., Hug T., Gujer W. 2015. Adaptation in hindsight: Dynamics and drivers shaping urban wastewater systems. Journal of Environmental Management, Volume 151, Pages 404-415.
- [6]. Henze M., Harremoës P. 2013. Biological Denitrification of Sewage: A Literature Review. Proceedings of the Conference on Nitrogen As a Water Pollutant, Pages 509-555.
- [7]. Haller, E. J. 1995. Simplified Wastewater Treatment Plant Operations. Basic Activated Sludge Process Control. Water Environment Federation.
- [8]. Wang F. Y., Rudolph V., Zhu Z. H. 2013. Sewage Sludge Technologies. The University of Queensland, Brisbane, QLD, Australia.
- [9]. Bielefeldt A. R. 2016. Water Treatment, Industrial. Reference Module in Life Sciences. University of Colorado Boulder, Boulder, CO, United States.
- [10]. Gujer W. 2006. Activated sludge modelling: past, present and future. Wat. Sci. Tech., 53(3), pp. 111 - 119.
- [11]. Bozkurt H., Quaglia A., Gernaey K. V., Sin G. 2015. A mathematical programming framework for early stage design of wastewater treatment plants. Environmental Modelling & Software, Volume 64, Pages 164-176.
- [12]. Van Loosdrecht, M.C.M., Lopez-Vazquez, C.M., Meijer, S.C.F., Hooijmans, C.M. & Brdjanovic, D. 2015. Twenty-five years of ASM1: past, present and future of wastewater treatment modelling. J. Hydroinformatics, in press.
- [13]. Santa Cruz J. A., Mussati S. F., Scenna N. J., Gernaey K. V., Mussati M. C. 2016. Reaction invariant-based reduction of the activated sludge model ASM1 for batch applications. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 4, Issue 3, Pages 3654-3664.
- [14]. Stokes, A. J., Forster, C. F., West, J. R. & Davies W. J. 2000. Stoat and the Oxygen Requirements of an Activated Sludge Plant, Environmental Technology, 21:11.
- [15]. Ergas S. J., Aponte-Morales V. 2014. Biological Nitrogen Removal. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Comprehensive Water Quality and Purification, Volume 3, Pages 123-149.
- [16]. Bozkurt H., Gernaey K. V., Sin G. 2015. Optimization-based methodology for wastewater treatment plant synthesis – a full scale retrofitting case study. Computer Aided Chemical Engineering, Volume 37, Pages 1241-1246.
- [17]. Henze, M., Gujer, W., Mino, T., Matsuo, T., Wentzel, M.C.M., Marais, G.V.R., 1995. Activated Sludge Model No. 2. IWA Scientific and Technical Report No. 3, London, UK.



# *Um cruzeiro eólico-solar pelo lago de Sanabria (NW Espanha): modelo inovador de gestão ecoturística para a interpretação ambiental em ecossistemas aquáticos dulçaquícolas*

Ana Maria Antão-Geraldes

CIMO, Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de  
Bragança Campus de Santa Apolónia  
5300-253 Bragança, Portugal  
geraldes@ipb.pt

Antonio Guillén Oterino, David de Salvador Velasco

Estación-Estação Biológica Internacional Duero-Douro  
EUROPARQUES - Estación/Estação Biológica  
Internacional Douro-Douro, Frontera de Zamora (ES) con  
Miranda Do Douro (PT), 5210-170 Miranda do Douro  
aguilleno@gmail.com; david@europarques.com;

**Resumo**—Os ecossistemas aquáticos dulçaquícolas oferecem uma vasta gama de serviços à humanidade, destacando-se o fornecimento de água e alimentos, estímulos estéticos e espirituais e a purificação da água. No entanto, estes e a biodiversidade que lhes está associada encontram-se com muita frequência fortemente degradados, colocando em perigo os serviços mencionados. Apesar da comprovada importância vital dos ecossistemas aquáticos dulçaquícolas para a sobrevivência da humanidade, o funcionamento destes e as espécies que neles habitam ainda são pouco conhecidos do grande público. Esta falta de consciencialização limita, em muito, ações que conduzam à sua conservação e reabilitação. A promoção de atividades de educação e interpretação ambiental, inseridas, ou não, em projetos de turismo sustentável, pode ajudar a alterar a perceção que os cidadãos têm dos sistemas aquáticos dulçaquícolas. Um bom exemplo dos pouquíssimos projetos que visam aumentar o conhecimento do grande público sobre estes ecossistemas e alertá-lo para importância da sua conservação é o projecto ecoturístico e educacional de interpretação do lago de Sanabria (Espanha), criado e desenvolvido pela Estación-Estação Biológica Internacional Duero-Douro. O presente artigo pretende divulgar a abordagem pouco convencional e inovadora que visa revelar ao grande público aspetos do funcionamento e da ecologia dos ecossistemas lacustres dulçaquícolas, tendo como pano de fundo o lago de Sanabria e toda a área envolvente.

**Keywords**—*ecossistemas aquáticos dulçaquícolas; interpretação ambiental, lago de Sanabria; Estación-Estação Biológica Internacional Duero-Douro (EBI)*

## I. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas aquáticos dulçaquícolas são “hotspots” de biodiversidade e oferecem uma vasta gama de serviços à humanidade, destacando-se o fornecimento de água e alimentos, estímulos estéticos e espirituais e a purificação da água [1]. No entanto, na globalidade, muitos destes ecossistemas e a biodiversidade que lhes está associada encontram-se fortemente ameaçados. Uma grande

percentagem de espécies com estatuto de ameaça ocorre nestes ecossistemas. Em consequência da perda de biodiversidade os serviços destes ecossistemas podem sofrer uma rápida degradação [2,3,4]. Apesar da comprovada importância vital dos ecossistemas dulçaquícolas para a humanidade – mesmo daqueles que se encontram fortemente modificados, como é o caso das albufeiras – o funcionamento destes e as espécies que neles habitam ainda são pouco conhecidos do grande público. Esta falta de consciencialização limita, em muito, ações que conduzam à sua conservação e reabilitação. Esta situação deve-se ao facto de os ecossistemas dulçaquícolas não terem tido um “Jacques Cousteau” que desse a conhecer ao grande público seus valores intrínsecos, ecológicos e estéticos [5]. Assim, estes ecossistemas e as espécies que neles habitam continuam a ser desconhecidos da maior parte dos cidadãos; para além de serem pouco abordados pelos “media”, quando o são, são-no de forma muito estrita apenas pelo seu valor utilitário. Para a opinião pública, muitas espécies de água doce são, assim, “invisíveis” e estão “longe do coração”. Um caso paradoxal é o das espécies piscícolas autóctones dos sistemas aquáticos dulçaquícolas ibéricos: pouca gente sabe que estas espécies são endemismos – e, portanto, únicas e que, para além disso, têm um papel extremamente importante no funcionamento destes ecossistemas [6,7]. Assim, se não houver uma maior consciencialização do público, estes ecossistemas continuarão a ser desconhecidos e subvalorizados pelos cidadãos que os encaram com sendo apenas reservatórios de água para a satisfação das necessidades humanas [5,8]. A promoção de atividades de educação e de interpretação ambiental, inseridas ou não em projetos de turismo sustentável, pode ajudar a alterar a perceção que os cidadãos têm dos sistemas aquáticos dulçaquícolas [9,10, 11, 12]. Através da análise de extensa bibliografia, resultados positivos na alteração da perceção relativamente ao funcionamento dos ecossistemas marinhos têm sido observados em consequência da implementação

atividades de observação de cetáceos no âmbito de projetos de ecoturismo. Esta constatação suporta, assim, a necessidade urgente de implementação de programas estruturados de interpretação/ educação ambiental quer no âmbito de projetos de ecoturismo, quer no âmbito de projetos educacionais [13]. Um bom exemplo dos pouquíssimos projetos que visam aumentar o conhecimento dos cidadãos sobre os ecossistemas aquáticos dulçaquícolas e alertar-los para importância da sua conservação é o projeto ecoturístico e educacional de interpretação do lago de Sanabria (Espanha) implementado pela Estación-Estação Biológica Internacional Duero-Douro. O objetivo do presente artigo é, assim, divulgar a abordagem pouco convencional e inovadora que visa revelar ao grande público o funcionamento e a ecologia dos ecossistemas lacustres dulçaquícolas, tendo como pano de fundo o lago de Sanabria e toda a região envolvente.

## II. ESTACIÓN- ESTACIÓN BIOLÓGICA INTERNACIONAL DUERO-DOURO

A “Estación - Estação Biológica Internacional Duero-Douro” (EBI- <http://www.duerodouro.org/>) é uma organização privada cuja missão é desenvolver projetos inovadores de conservação da biodiversidade/educação ambiental que promovam também o desenvolvimento económico sustentável das regiões onde se inserem. Para salvaguardar a sua independência e princípios éticos, as ações de transferência de tecnologia, inovação e conhecimento desenvolvidas são financiadas por projetos de ecoturismo e por voluntariado nacional e internacional. Os principais projetos de ecoturismo desenvolvidos pela EBI são os Cruzeiros Ambientais nas Arribas do Douro (Parques Naturais do Douro Internacional- Portugal e Arribes del Duero-Espanha) e no lago de Sanabria (Parque Natural do lago de Sanabria- Espanha junto à fronteira com Portugal). A EBI gera no total cerca de 70.000 visitantes/ano nas regiões envolvidas dos quais cerca de 95% participam nos Cruzeiros Ambientais. Estas visitas têm impactos positivos importantes na economia regional transfronteiriça dos dois países – Espanha e Portugal-gerando cerca de 3 milhões de euros/ano no comércio, restauração e alojamento local.

## III. LAGO DE SANABRIA

O lago de Sanabria (Fig.1.) é o maior lago natural da Península Ibérica, localizando-se em Espanha no noroeste da Província de Zamora (42°07'30" N; 06°43'00" W; altitude 1000 m). É de origem glaciária e tem uma profundidade máxima de 53 m. O volume de água médio do lago, que ocupa uma área de cerca de 3,5 Km<sup>2</sup>, é de 96,3 Hm<sup>3</sup> (tempo de residência da água (1942-1993): 0,76 anos). Este lago não é um lago fechado, sendo alimentado pelo Rio Tera e seus afluentes Cárdenas e Segundera. Encontra-se inserido na área protegida do Parque Natural do Lago de Sanabria, fazendo também parte da Rede Natura 2000. O lago apresenta uma elevada biodiversidade e tal como todos os lagos oligotróficos de montanha é um ecossistema extremamente sensível. [13,14,15]. A maior parte do ano no entorno do lago existem cerca de 200 habitantes, mas no Verão, este Parque Natural está sujeito a uma grande pressão turística (de acordo com [16] mais de 600.000 pessoas visitaram o Parque em 2015). Se não houver uma gestão e ações de promoção ambientais

adequadas, a grande afluência turística poderá por em perigo a integridade ecológica deste lago.

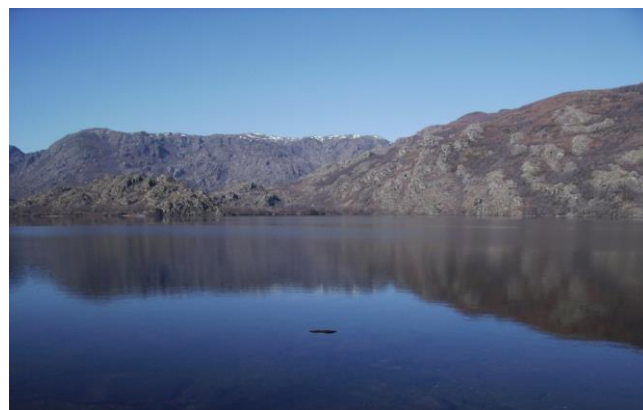


Fig. 1. Lago de Sanabria.

## IV. CRUZEIRO AMBIENTAL NO LAGO DE SANABRIA

Este cruzeiro ambiental tem como objetivo principal fazer a interpretação subaquática do lago. Esta atividade é realizada a bordo do HELIOS (Fig. 2.) um navio hidrográfico eólico-solar, com 80 lugares, equipado com a mais moderna tecnologia. Para além de ter sido o primeiro navio eólico-solar construído no mundo é certificado do ponto de vista ambiental, garantindo emissões zero de resíduos, efluentes, gases para atmosfera e de ruído, diminuindo, assim, os impactos ambientais destas atividades num ecossistema extremamente sensível com é o lago de Sanabria [e.g. 17]



Fig.2. HELIOS

Durante a viagem técnicos do EBI realizam a interpretação subaquática do lago com recurso a um mergulho em direto (Fig. 3.). Um complexo sistema de comunicação e vídeo permite que o mergulhador e os turistas possam comunicar entre si, obtendo em tempo real informações sobre a geologia, flora e fauna subaquática. Paralelamente, os participantes também assistem a uma sessão de monitorização do lago em que são determinados vários parâmetros ambientais e realizadas amostras de plâncton (Fig. 4.). A interpretação do plâncton e de outros organismos microscópicos com papel fundamental no funcionamento do lago [e.g. 18] é realizada com o auxílio de um microscópio acoplado a um ecrã de imagem (Fig. 5.).

A viagem termina com a degustação de sidra produzida localmente. De salientar esta atividade é também acessível a pessoas com mobilidade reduzida. Escolas de todos os níveis de ensino também podem ter acesso a este Cruzeiro de forma gratuita ou a preços muito reduzidos.

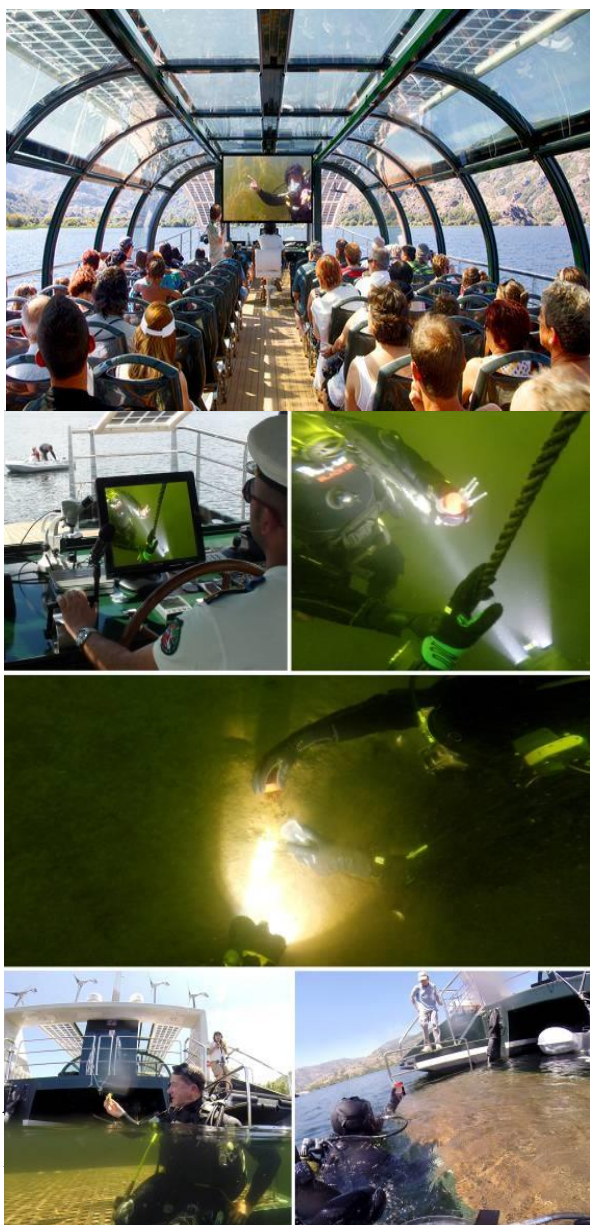


Fig. 3. Mergulho interpretativo.



Fig.4. Determinação da transparência da água com o disco de Secchi (A) e rede de arrasto vertical para a colheita do zooplâncton (B).



Fig.5. Observação do plâncton.

## V. PROJETOS FINANCIADOS PELO CRUZEIRO AMBIENTAL NO LAGO DE SANABRIA

Como já foi referido, este cruzeiro ambiental financia e colabora com vários projetos de índole educacional e conservacionista, salientando-se o projeto Lago de Sanabria - Presente e Futuro de um Ecossistema em Desequilíbrio cujos resultados estão publicados em [14]. Aqui são detalhadas as modificações ambientais em curso no lago resultantes da ação humana. Este trabalho também permitiu documentar, a ocorrência, pela primeira vez no lago, de numerosas espécies fitoplâncton, de fitobentos e de zooplâncton. Algumas destas espécies foram também citadas pela primeira vez para a Península Ibérica. Muitos destes dados, resultantes do trabalho de investigação que ainda decorre, estão também publicados “on-line” na galeria do mundo microscópico na página Biodiversidade Virtual (<http://www.biodiversidadvirtual.org/micro/>) e na galeria do Proyecto Água (<https://www.flickr.com/photos/microagua/>) uma das principais referências a nível mundial no que diz respeito à biodiversidade microscópica dos ecossistemas de água doce. Estas páginas visam dar a conhecer ao grande público a importância do plâncton e de outros organismos aquáticos microscópicos para a manutenção da integridade ecológica dos lagos. De salientar que o “site” do Proyecto Água teve até ao momento mais de 7 milhões de visitas (Fig. 6.).

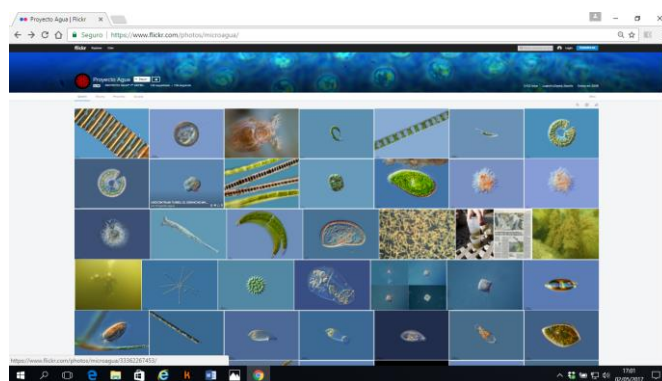


Fig.6. Proyecto Água.

## VI. CONCLUSÕES

Os cruzeiros ambientais da EBI são o exemplo de como é possível desenvolver projetos inovadores que combinam turismo sustentável, interpretação e educação ambiental, transferência de inovação e de conhecimento, mecenato, promoção do desenvolvimento económico sustentável e do bem-estar social na região onde se inserem. Organizações com



a filosofia da EBI, apesar de apresentarem produtos ecoturísticos inovadores, ainda são marginais nos panoramas turísticos nacionais e internacionais. No entanto, o valor de projetos de turismo sustentável é cada vez mais reconhecido devido às sinergias entre a Natureza, os locais e as pessoas que este tipo de turismo promove. É, assim, de esperar que dentro de alguns anos estas e outras organizações estejam cada vez mais bem posicionadas no mercado turístico global.

[18] R.G. Wetzel “Limnology-Lake and river Ecosystems”. San Diego: Academic Press 2001.

## References

- [1] Millenium Ecosystem Assessment, “Ecosystems and Human Well-being: Synthesis”. Island Press, Washington, DC. 2005
- [2] D. Dudgeon, et al “Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges” *Biol Rev Camb Philos Soc.*, vol 81(2), pp. 163-182 2006.
- [3] G. McG. Reid, T. Contreras MacBeath and K. Csáti, Global challenges in freshwater fish conservation related to public aquariums and the aquarium industry. *International Zoo Yearbook*, vol 47, pp. 6-45 2013.
- [4] WWF “Living Planet Report 2014, WWF 2014
- [5] J. B. Monroe, C. V. Baxter, J. D. Olden and P. L. Angermeier, “Understanding the Role of Images and Media in Aquatic Conservation.” *Fisheries*. vol 34 (12), pp. 581-585 (2009).
- [6] A. Macedo-Veiga, “Towards the conservation of freshwater fish: Iberian Rivers as an example of threats and management practices.”, *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, vol 23, pp. 1–22 2013.
- [7] C. Sousa-Santos et al., Broad-scale sampling of primary freshwater fish populations reveals the role of intrinsic traits, inter-basin connectivity, drainage area and latitude on shaping contemporary patterns of genetic diversity. *PeerJ* 4:e1694; DOI 10.7717/peerj.1694 2016.
- [8] J. Angiel. and P.J. Angiel, “Perception of River Value in Education for Sustainable Development (The Vistula River, Poland)”, *Sust. Dev.*, vol 23, pp. 188–201, 2015.  
S. Ham, *Environmental Interpretation- A Practical Guide for People with Big Ideas and Small Budgets*. University of Idaho Moscow, Idaho, 1992.
- [9] J. Padrão and J. Tavares, “Environmental Education and Tourism” *Mediterranean Journal of Social Sciences*, vol.5 (22 ) pp. 540-544 2014.
- [10] P. G. Walter, “Theorising visitor learning in ecotourism” *Journal of Ecotourism*, vol 12(1), pp 15-32 2013.
- [11] T. Hvenegaard, “Visitors’ perceived impacts of interpretation on knowledge, attitudes, and behavioral intentions at Miquelon Lake Provincial Park, Alberta, Canada” *Tourism and Hospitality Research*, vol. 17(1), pp. 79–90 2017.
- [12] M. Lück, “Education on marine mammal tours as agent for conservation—but do tourists want to be educated?”, *Ocean & Coastal Management*, vol 46, pp. 943–956 2003
- [13] A. I. Negro, C. De Hoyos & J. C. Vega, “Phytoplankton structure and dynamics in Lake Sanabria and Valparaíso reservoir (NW Spain)” *Hydrobiologia*, vol 424, pp 25–37 2000.
- [14] A. Guillén Oterino, Lago de Sanabria presente y futuro de un ecosistema en desequilibrio. Estación Biológica internacional “Duero-Douro, 2015. (<http://www.duerodouro.org/area-de-investigacion/investigacion-lago-de-sanabria/indice>)
- [15] M. Jambrina-Enríquez, C. Recio J. C. Vega and B. Valero-Garcés, “Tracking climate change in oligotrophic mountain lakes: Recent hydrology and productivity synergies in Lago de Sanabria (NW Iberian Peninsula)”, *Science of the Total Environment*, vol 590–591, pp. 79–591 2017
- [16] Junta de Castilla y Leon, El Parque Natural del Lago de Sanabria recibió el pasado año un 7% más de visitantes em [http://www.comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1281372051501/\\_/1284565307491/Comunicacion](http://www.comunicacion.jcyl.es/web/jcyl/Comunicacion/es/Plantilla100Detalle/1281372051501/_/1284565307491/Comunicacion) acedido em 29 de Abril 2017. 2015.
- [17] H. Gürsu “solar and wind powered concept boats:the example of volitan”. *Metu JFA*, vol 31 (2), pp. 109-123 2014.

# Armazenamento de carbono em solos desenvolvidos sob quatro espécies florestais na região mediterrânea

F. Fonseca<sup>1</sup>, T. de Figueiredo<sup>1</sup>

CIMO – Centro de Investigação de Montanha, Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança  
Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal  
ffonseca@ipb.pt

**Resumo**— Os horizontes orgânicos e minerais dos solos florestais apresentam elevada importância no armazenamento de carbono. No entanto, o conhecimento dos efeitos das espécies florestais na retenção deste elemento é ainda escasso, principalmente em Portugal. Com o propósito de contribuir para este conhecimento realizou-se um estudo em povoamentos de quatro espécies florestais com 60 anos de idade, instalados na vertente poente da Serra da Padrela, próximo de Vila Pouca de Aguiar. Duas das espécies apresentam elevada representação na região Norte do país, *Castanea sativa* Miller (CS) e *Pinus pinaster* Aiton (PP) e duas, embora com menor representatividade, evidenciam interesse silvícola, *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (PM) e *Pinus nigra* Arnold (PN). Na selecção das áreas de amostragem, procuraram-se características semelhantes no que toca a topografia, litologia e clima, de modo a reduzir o efeito de outras variáveis e a melhor identificar as possíveis diferenças no armazenamento de carbono devidas à espécie florestal. Em cada povoamento, foram seleccionados 15 locais ao acaso e colhido o material orgânico (horizonte orgânico) numa área de 0,49 m<sup>2</sup> por local. A colheita do horizonte orgânico obedeceu a critérios morfológicos tendo sido separado nas camadas L, F e H. As camadas L e F, por sua vez, foram separadas em três fracções: folhas, pinhas ou ouriços e ramos. Nos mesmos locais foram ainda colhidas amostras de solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm. Também nestas profundidades colheram-se amostras não perturbadas para determinação da densidade aparente. As concentrações de carbono foram determinadas em todas as amostras (horizontes orgânicos e minerais) e convertidas em massa por unidade de área. A massa de carbono por unidade de área segue a sequência PN > PM > CS > PP. As espécies PM e CS armazenam quantidades idênticas de carbono, sendo que mais de 80% da quantidade deste elemento se encontra no solo. No caso das espécies PN e PP o contributo dos horizontes orgânicos na retenção deste elemento é mais expressivo do que nas restantes mas sempre inferior a 30%.

**Palavras-chave**— Norte de Portugal; resinosas; folhosas; camadas orgânicas; teor de carbono

## I. INTRODUÇÃO

As florestas são parte integrante do ciclo do carbono, pelo que as técnicas usadas na sua gestão têm grandes implicações na concentração de dióxido de carbono na atmosfera (Harmon e Marks, 2002). Num cenário de alterações climáticas, o conhecimento das diferenças entre espécies, no que respeita à capacidade de armazenar carbono, deve constituir uma ferramenta de apoio à decisão quando da introdução de novas

espécies florestais e pode ainda ser utilizado estrategicamente para atingir metas ambientais (Oostra et al., 2006; Schulp et al., 2008; Vallet et al., 2009). Nos ecossistemas florestais, a vegetação constitui a principal fonte de resíduos da fração orgânica do solo, pelo que será de esperar que esta seja afetada de forma mais ou menos marcada pela quantidade de biomassa produzida e características da mesma. Os solos são a base de todo o crescimento florestal e têm um papel fundamental nos processos hidrológicos e no ciclo de nutrientes, com especial relevância para o ciclo do carbono.

Os restos vegetais acumulados à superfície do solo formam o horizonte orgânico, que no seu desenvolvimento máximo compreende três camadas: L, F e H (Wesemael 1993; Wardle 1993; Van Delft et al. 2006). A camada L é constituída por material fresco levemente descolorido, morfológicamente intacto com idade até dois ou mais anos conforme as espécies. Constitui a maior fonte de reservas orgânicas do solo. A camada F é a zona imediatamente subjacente constituindo uma camada de fermentação. Os materiais orgânicos apresentam decomposição parcial, mas suficientemente bem preservados permitindo a identificação da sua origem. A camada H compreende material orgânico amorfo com muitos excrementos de animais e micorrizas. Apresenta baixa coerência e transição gradual para o horizonte mineral A, contendo considerável quantidade de matéria mineral. As características da matéria orgânica do solo encontram-se condicionadas por vários factores que determinam o sentido em que ocorrem as transformações dos resíduos orgânicos incorporados no solo. As temperaturas baixas, os declives acentuados, e sobretudo, a presença de vegetação de gimnospérmicas, parece condicionar em elevado grau a evolução do húmus.

Com o presente trabalho, pretende-se quantificar o armazenamento de carbono nos horizontes orgânicos e minerais dos solos desenvolvidos sob quatro espécies florestais, *Pinus pinaster* (PP), *Pinus nigra* (PN), *Pseudotsuga menziesii* (PM) e *Castanea sativa* (CS).

## II. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na Serra da Padrela, Norte de Portugal, 41°29'24''N e 7°36'43''W, maioritariamente entre os 800 e os 900m de altitude. A temperatura média anual é de

11,3°C, com médias mensais que variam entre 4,0°C (Dezembro) e 21,9°C (Agosto). A precipitação média anual é de 1381mm e distribui-se ao longo de todo o ano, apresentando valores máximos no Outono-Inverno, e um máximo secundário na Primavera (INMG, 1991). De acordo com FAO/UNESCO (1988) os solos estão integrados na unidade Cambissolos úmbricos órticos derivados do xisto com textura média, ácidos, teores muito baixos de P e moderados a altos de K e teor médio de matéria orgânica (Agroconsultores e Coba 1991; Martins et al. 2007). O estudo decorreu em povoamentos de *Pinus pinaster* Aiton (PP), *Pinus nigra* Arnold (PN), *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (PM) e *Castanea sativa* Miller (CS), com 60 anos de idade, instalados em idênticas condições de clima, relevo e solo. Em cada povoamento foram seleccionados, de forma aleatória, 15 locais de amostragem, onde foi recolhido o material orgânico numa área de 0,49 m<sup>2</sup> por local, subdividido, segundo os critérios morfológicos, nas camadas L, F e H. As camadas L e F foram separadas em 3 fracções: folhas, pinhas ou ouriços e ramos. Posteriormente agruparam-se as amostras de cada camada 3 a 3, perfazendo 5 amostras por camada, num total de 35 amostras por espécie. As amostras foram secas a 65°C durante 72h com vista à determinação da matéria seca. Nos mesmos locais onde se procedeu à recolha do material orgânico, colheram-se amostras de solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm, seguidas de secagem a 45°C e crivagem, com crivo de malha de 2 mm. Também nestas profundidades foram colhidas amostras de solo não perturbadas, com um cilindro de 100 cm<sup>3</sup> de volume, para determinação da densidade aparente. Todas as amostras (horizontes orgânicos e minerais) foram analisadas para a concentração de carbono pelo método de combustão seca (ISO 1995). A massa dos horizontes orgânicos foi convertida em carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) multiplicando estes valores pela concentração de carbono na matéria seca. O carbono orgânico do solo (Mg ha<sup>-1</sup>) foi calculado através da multiplicação da concentração de carbono, pela densidade aparente e espessura da camada de solo, com a realização de uma correcção para o teor de elementos grosseiros. De forma a testar o possível efeito das espécies no armazenamento de carbono nos horizontes do solo, os dados foram tratados estatisticamente com recurso à análise de variância e as diferenças analisadas através do teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade de resíduos orgânicos acumulados na superfície do solo (horizonte orgânico) é significativamente superior para a espécie PN (59,3 Mg ha<sup>-1</sup>), seguida das espécies PM (33,0 Mg ha<sup>-1</sup>) e PP (23,5 Mg ha<sup>-1</sup>) e por último a espécie CS (16,6 Mg ha<sup>-1</sup>) (Figura 1). As folhas são o principal constituinte do horizonte orgânico em todas as espécies, mas no caso da espécie PN as pinhas representam uma fracção importante (Tabela 1). As diferenças entre espécies estão essencialmente relacionadas com a taxa de decomposição anual (k) - 18 % para o PN, 19 % para PP, 35 % para PM e 55 % para CS, (Martins et al. 1998), com o ritmo de acumulação

de pinhas (elevado para a espécie PN) e exportação de folhada para combustível doméstico (caso da espécie PP).

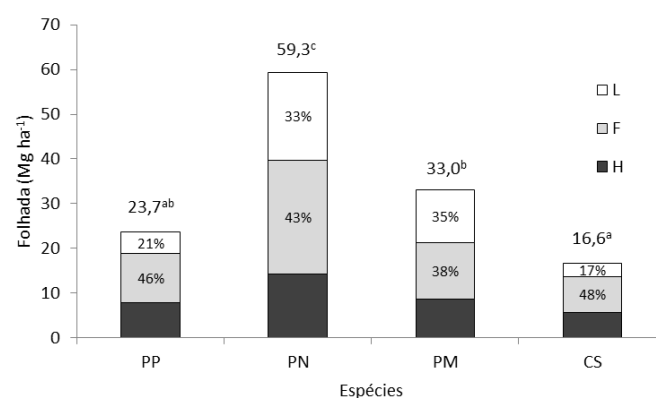


Fig. 1. Quantidade total de resíduos orgânicos (Mg ha<sup>-1</sup>) nas camadas L, F e H das espécies PP (*Pinus pinaster*), PN (*Pinus nigra*), PM (*Pseudotsuga menziesii*) e CS (*Castanea sativa*). Valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes. (p < 0,05)

O valor total de folhada das camadas orgânicas aumenta de L para F, diminuindo para H (Tabela 1). A menor quantidade de resíduos orgânicos acumulados sob a espécie folhosa (CS), parece estar relacionada com a superior taxa de decomposição, por sua vez relacionada com a composição química da folhada (Guendehou et al. 2014; Kooch et al. 2017). Resultados idênticos foram obtidos por outros autores (Schulp et al. 2008; Fonseca e Figueiredo 2010; Bargali et al. 2015).

Quadro I. Quantidade de resíduos orgânicos (Mg ha<sup>-1</sup>) das camadas L, F e H (média ± desvio padrão) para as espécies PP (*Pinus pinaster*), PN (*Pinus nigra*), PM (*Pseudotsuga menziesii*) e CS (*Castanea sativa*). Para os componentes ou camadas, valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes. (p < 0,05)

Espécies	Camada	Componente			Total
		folhas	pinhas/ouriços	ramos	
PP	L	3,5 ± 1,8	0,5 ± 0,8	0,9 ± 0,7	4,9 ± 1,0 <sup>a</sup>
	F	9,9 ± 2,7	0,1 ± 0,2	0,9 ± 0,9	10,9 ± 1,5 <sup>b</sup>
	H				7,9 ± 0,5 <sup>b</sup>
	Total	13,4 ± 2,3 <sup>b</sup>	0,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	1,8 ± 0,8 <sup>a</sup>	
PN	L	3,6 ± 1,3	10,7 ± 8,5	5,3 ± 7,8	19,6 ± 4,3 <sup>b</sup>
	F	17,1 ± 4,1	5,7 ± 4,9	2,6 ± 2,5	25,4 ± 3,8 <sup>b</sup>
	H				14,3 ± 1,0 <sup>a</sup>
	Total	20,7 ± 2,6 <sup>c</sup>	16,4 ± 6,2 <sup>b</sup>	7,9 ± 3,9 <sup>a</sup>	
PM	L	4,6 ± 3,3	0,5 ± 0,5	6,6 ± 3,8	11,7 ± 2,7 <sup>a</sup>
	F	12,0 ± 5,1	0,1 ± 0,2	0,6 ± 0,6	12,7 ± 1,7 <sup>a</sup>
	H				8,6 ± 0,6 <sup>a</sup>
	Total	16,6 ± 3,2 <sup>c</sup>	0,6 ± 0,3 <sup>a</sup>	7,2 ± 1,8 <sup>b</sup>	
CS	L	2,0 ± 1,0	0,2 ± 0,2	0,7 ± 0,4	2,9 ± 0,5 <sup>a</sup>
	F	7,2 ± 2,4	0,2 ± 0,2	0,6 ± 0,4	8,0 ± 1,6 <sup>b</sup>
	H				5,7 ± 0,4 <sup>b</sup>
	Total	9,2 ± 1,3 <sup>b</sup>	0,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	1,3 ± 0,4 <sup>a</sup>	



O carbono total armazenado no horizonte orgânico varia significativamente entre espécies, sendo a espécie PN a que apresenta o maior valor ( $27,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) (Figura 2). Para esta espécie, o armazenamento de carbono nas folhas ( $9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), pinhas ( $9,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e ramos ( $4,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) apresenta proporções mais equitativas que as restantes espécies. Ao contrário, a espécie CS apresenta o valor mais baixo ( $5,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), sendo que as folhas armazenam  $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ , representando cerca de 70% do total de carbono armazenado (Tabela 2). O armazenamento de carbono é significativamente mais elevado na camada F das espécies PP e CS, mostrando as restantes espécies (PN e PM) valores similares aos da camada L. A camada H é a que apresenta os valores mais baixos. Nas espécies PP e CS aproximadamente 70% do carbono encontra-se armazenado nas folhas. Nas espécies PM e PN este valor decresce para 54% e 36% respectivamente, sendo que as pinhas representam a percentagem mais alta no caso da espécie PN (34%) e os ramos no caso da espécie PM (33%) (Tabela 2). Herrero et al. (2016) obtiveram resultados similares de armazenamento de carbono no horizonte orgânico, com valores mais elevados sob *Pinus* spp. ( $13,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) comparativamente à espécie *Quercus pyrenaica* ( $5,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ ).

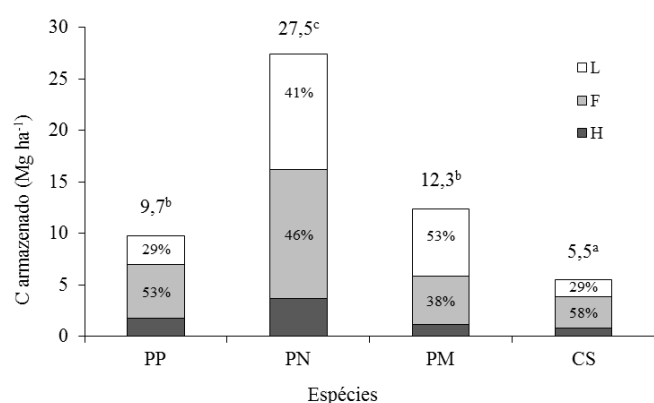


Fig. 2. Armazenamento de carbono nas camadas L, F e H das espécies PP (*Pinus pinaster*), PN (*Pinus nigra*), PM (*Pseudotsuga menziesii*) e CS (*Castanea sativa*). Valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes. ( $p < 0,05$ )

Quadro II. Armazenamento de carbono ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) nos componentes orgânicos das camadas L, F e H (média  $\pm$  desvio padrão) das espécies PP (*Pinus pinaster*), PN (*Pinus nigra*), PM (*Pseudotsuga menziesii*) e CS (*Castanea sativa*). Para os componentes ou camadas, valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ )

Espécies	Camada	Componente			Total
		folhas	Pinhas/ourios	ramos	
PP	L	$2,0 \pm 1,0$	$0,3 \pm 0,5$	$0,5 \pm 0,4$	$2,8 \pm 0,5^a$
	F	$4,6 \pm 1,1$	$0,1 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,5$	$5,2 \pm 0,6^b$
	H				$1,8 \pm 0,3^a$
	Total	$6,6 \pm 1,0^b$	$0,4 \pm 0,4^a$	$1,0 \pm 0,5^a$	

PN	L	$2,0 \pm 0,7$	$6,2 \pm 4,9$	$3,0 \pm 4,5$	$11,2 \pm 3,2^b$
	F	$7,8 \pm 2,2$	$3,2 \pm 2,8$	$1,4 \pm 1,4$	$12,4 \pm 1,8^b$
	H				$3,7 \pm 0,9^a$
	Total	$9,8 \pm 1,7^b$	$9,4 \pm 3,3^b$	$4,4 \pm 2,9^a$	
PM	L	$2,4 \pm 1,8$	$0,3 \pm 0,3$	$3,8 \pm 2,2$	$6,5 \pm 1,1^b$
	F	$4,2 \pm 1,9$	$0,1 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,3$	$4,6 \pm 0,5^b$
	H				$1,2 \pm 0,4^a$
	Total	$6,6 \pm 1,2^b$	$0,4 \pm 0,2^a$	$4,1 \pm 1,3^b$	
CS	L	$1,1 \pm 0,5$	$0,1 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,7$	$1,6 \pm 0,4^b$
	F	$2,7 \pm 1,0$	$0,1 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,2^c$
	H				$0,8 \pm 0,2^a$
	Total	$3,8 \pm 0,9^b$	$0,2 \pm 0,1^a$	$0,7 \pm 0,5^a$	

A quantidade de carbono armazenada nas profundidades de solo 0-10 e 10-20 cm é similar, apresentando a camada mais superficial uma quantidade ligeiramente superior (ligeiramente superior a 50%). Na camada 0-20 cm o total de carbono armazenado varia de  $64,6 \text{ Mg ha}^{-1}$  (PN) a  $30,3 \text{ Mg ha}^{-1}$  (PP) (Figura 3). O armazenamento de carbono sob a espécie PP é bastante inferior ao encontrado por Nunes et al (2010) nos primeiros 30 cm de solos desenvolvidos sob a mesma espécie no NW de Portugal, onde os valores variam entre 90,2 e  $123,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ .

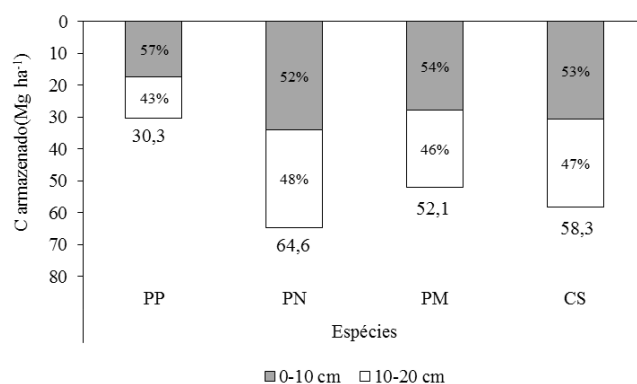


Fig. 3. Armazenamento total de carbono nos horizontes minerais do solo sob as espécies PP (*Pinus pinaster*), PN (*Pinus nigra*), PM (*Pseudotsuga menziesii*) e CS (*Castanea sativa*). Valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ )

Após 60 anos é visível o efeito das espécies no armazenamento de carbono nos horizontes orgânicos e minerais do solo (Figura 4). O armazenamento de C é significativamente superior para a espécie PN ( $92,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), mostrando a espécie PP o valor mais baixo ( $40,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). As restantes espécies apresentam valores intermédios e idênticos entre si ( $64,4 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a espécie PM e  $63,9 \text{ Mg ha}^{-1}$  para a espécie CS). Globalmente, o horizonte orgânico sob a espécie CS armazena menor quantidade de carbono, comparativamente às espécies resinosas (PP, PN e PM), mas nos horizontes minerais atinge valores idênticos aos registados

para a espécie PN. A percentagem de carbono armazenada nos horizontes minerais do solo varia entre 70% (PN) e 91% (CS).

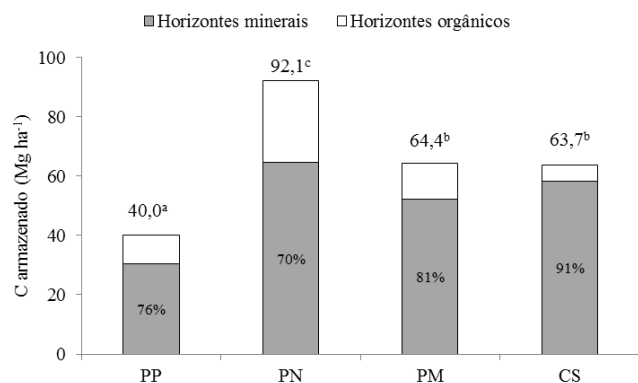


Fig. 4 – Armazenamento total de carbono nos horizontes orgânicos e minerais do solo sob as espécies PP (*Pinus pinaster*), PN (*Pinus nigra*), PM (*Pseudotsuga menziesii*) e CS (*Castanea sativa*). Valores seguidos de letras diferentes são estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ )

#### IV. CONCLUSÕES

O armazenamento global de carbono regista os valores mais baixos na espécie PP e os mais altos na espécie PN, contribuindo para este resultado quer o compartimento solo quer o compartimento horizonte orgânico. Na espécie CS o compartimento solo armazena mais de 90% do total de carbono, nas restantes espécies não vai além dos 80%. Globalmente, as espécies PM e CS apresentam comportamento idêntico na retenção de carbono.

#### REFERENCES

- [1] Agroconsultores e Coba, Carta dos Solos do Nordeste de Portugal. PDRITM, UTAD, Vila Real, 1991.
- [2] A. Martins, J. Coutinho, S. Costa, F. Fonseca, M. Madeira, A folhada de quatro povoamentos florestais no Norte de Portugal: Produção e concentração e quantidade de nutrientes devolvidos ao solo. Rev Ciências Agrárias 30(2), 2007, 201-216.
- [3] B. Van Delft, R.W. Waal, R.H. Kemmers, P. Mekking, J. Sevink, Field guide Humus Forms: Description and classification of humus forms for ecological applications. Wageningen: Alterra, 2006.
- [4] B.V. Wesemael, Litter decomposition and nutrient distribution in humus profiles in some Mediterranean forests in southern Tuscany. For Ecol Manage 57, 1993, 99-114.
- [5] C. Herrero, B. Turrión, V. Pando, F. Bravo, Carbon content of forest floor and mineral soil in Mediterranean *Pinus* spp. and Oak stands in acid soils in Northern Spain. Forest Syst. 25(2), 2016, e065.
- [6] C.J.E. Schulp, G.J. Nabuurs, P.H. Verburg, R.W. Waal, Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. For Ecol Manage. 256, 2008, 482-490.
- [7] D.A. Wardle, Changes in the microbial biomass and metabolic quotient during leaf litter succession in some New Zealand forest and scrubland ecosystems. Funct Ecol. 7, 1993, 346-355.
- [8] FAO/UNESCO, Soil map of the world, revised legend, Amended 4th draft. FAO, Roma, 1998.

- [9] F. Fonseca, T. Figueiredo, Impact of tree species replacement on carbon stocks in forest floor and mineral soil. In: Proceedings of the IUFRO-Landscape Ecology International Conference; Sept 21-27; Bragança, Portugal. Forest Landscapes and Global Change: New Frontiers in Management, Conservation and Restoration, 2010, p. 557-562.
- [10] G.S. Guendehou, J. Liski, M. Tuomi, M. Moudachirou, B. Sinsin, R. Makipaa, Decomposition and changes in chemical composition of leaf litter of five dominant tree species in a West African tropical forest. Trop Ecol. 55, 2014, 207-220.
- [11] INMG, Normais Climatológicas da Região de "Trás-os-Montes e Alto Douro" e "Beira Interior" Correspondentes a 1951-1980. Fascículo XLIX, Volume 3, 3ª Região, Lisboa, 1991.
- [12] ISO, Soil quality – determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis), International Standard ISO 10694. Geneva (Switzerland). International Organization for Standardization, 1995.
- [13] L. Nunes, M. Patrício, J. Tomé, M. Tomé, Carbon and nutrients stocks in even-aged maritime pine stands from Portugal. Forest Syst 19, 2010, 434-448.
- [14] M.E. Harmon, B. Marks, Effects of silvicultural practices on carbon stores in Douglas-fir-western hemlock forest in the Pacific Northwest, USA: results from a simulation model. Can. J. For. Res. 32, 2002, 863-877.
- [15] P. Vallet, C. Meredieu, I. Seynave, T. Bélouard, J.F. Dhôte, Species substitution for carbon storage: Sessile oak versus Corsican pine in France as a case study. For Ecol Manage. 257, 2009, 1314-1323.
- [16] S.S. Bargali, K. Shukla, L. Singh, L. Grosh, M.L. Lakhera, Leaf litter decomposition and nutrient dynamics in four tree species of dry deciduous forest. Trop Ecol. 56(2), 2015, 191-200.
- [17] S. Oostra, H. Majdi, M. Olsson, Impact of tree species on soil carbon stocks and soil acidity in southern Sweden. Scand J For Res. 21, 2006, 364-371.
- [18] Y. Kooch, B. Samadzadeh, S.M. Hosseini, The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. Catena 150, 2017, 223-229.

# Transformação Digital – As Smart Cities e os Recursos Tecnológicos

## Digital Transformation – Smart Cities and Technological Resources

Isabel Maria Lopes

Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal  
UNIAG, Instituto Politécnico Bragança, Portugal  
Centro ALGORITMI, Guimarães, Portugal  
isalopes@ipb.pt

Pedro Oliveira

Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal  
pedrooli@ipb.pt

**Resumo**—*Na idade da transformação digital, as cidades estão a sofrer inúmeras mudanças, visível na quantidade de projetos implementados nos últimos anos pelos Municípios, fazendo com que as tecnologias se infiltrassem nas nossas cidades. A mudança é inevitável! Embora a transformação digital esteja para além da incorporação de tecnologias, a mentalidade e cultura dos cidadãos em se adaptarem a essas alterações, tem de ser devidamente incutida. Com esta transformação tecnológica as cidades superam os desafios do passado e conquistam o futuro. Os recursos tecnológicos utilizados como um meio para prestar de forma eficiente diferentes serviços e melhorando a qualidade de vida dos cidadãos, transformam-nas em “smart cities”. A Rede Portuguesa de Cidades Inteligentes integra 46 Municípios, encontrando-se em menor número cidades do interior. Mas a questão que se coloca é, o que é uma smart city? Para responder a esta e outras perguntas foi feito um inquérito cujo resultado é apresentado neste estudo.*

**Palavras-chave**— *smart cities; transformação digital; recursos tecnológicos, rede portuguesa de cidades inteligentes*

**Abstract**—*In this era of digital transformation, cities are undergoing innumerable changes, noticeable through the quantity of projects implemented by Municipalities over the last years, bringing technologies to slip into our cities. The change is inevitable! Although the digital transformation goes beyond the incorporation of technologies, the citizens’ culture and mindset into adapting to such changes must be appropriately instilled. Through this technological transformation, cities overcome the challenges of the past and conquer the future. The use of technological resources as a means to provide several services more efficiently and to improve the citizens’ quality of life turns these cities into ‘smart cities’. The Portuguese Smart Cities Network is composed of 46 Municipalities, the fewest of which are inland cities. But the question arising is: what is a smart city? In order to answer this and other questions, a survey was conducted and the results are presented in this study.*

**Keywords**— *smart cities; digital transformation; technological resources; smart cities Portuguese network*

### I. INTRODUÇÃO

O século XXI é, e continuará sendo, o século das cidades. O crescente processo de urbanização levou mais da metade da

população mundial a viver em cidades, centros de influência econômica e social. Em paralelo, a revolução digital está criando uma sociedade conectada e colaborativa, transformando as relações entre os cidadãos. Na confluência dessas duas tendências globais surgem as smart cities [1].

Definir o que são cidades inteligentes “smart cities” e medir os níveis de sustentabilidade, qualidade de vida e bem-estar são temas ainda pouco consensuais. Apesar dos vários índices e rankings existentes, normalmente desenvolvidos por empresas e instituições, não há ainda uma uniformização dos indicadores que estabelecem o que são, afinal, cidades inteligentes.

No entanto, parece estar dado o primeiro passo nesse sentido: a publicação da norma ISO 37120:2014 é o primeiro referencial ISO (the International Organization for Standardization) com indicadores para as cidades, medindo a capacidade de fornecimento de serviços e a qualidade de vida [2].

Esta norma internacional direciona-se a qualquer cidade, município ou entidade de governação local que se compromete a medir o seu desempenho de forma comparável e verificável, independentemente do seu tamanho, localização ou nível de desenvolvimento.

A ISO 37120 engloba indicadores de diferentes áreas, tais como: economia, educação, energia, ambiente, finanças, serviços de emergência, saúde, lazer, segurança, resíduos, transportes, telecomunicações, água, planeamento urbano. Em vez de atribuir juízos de valor ou metas numéricas para os indicadores, estabelece definições e metodologias para um conjunto de indicadores, no sentido de orientar e medir o desempenho dos serviços da cidade e na qualidade de vida que proporciona aos seus cidadãos.

Mas como se pode definir uma smart city? A International Data Corporation, empresa líder mundial na área de ‘market intelligence’, serviços de consultoria e organização de eventos para os mercados das Tecnologias de Informação, Telecomunicações e Eletrónica de Consumo, define uma smart cities como uma cidade que declarou a sua intenção de utilizar as tecnologias da informação e comunicação para

transformar o *modus operandi* em uma ou mais das seguintes áreas: energia, meio ambiente, governo, mobilidade, edifícios e serviços. O objetivo final de uma *smart city* é melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos, assegurando o crescimento económico sustentável [3].

Outra definição destaca aspetos diferentes. A abordagem de Rios [4] é baseada em uma lente arquitetónica. Ele vê a cidade inteligente como uma cidade que inspira, partilha cultura, conhecimento e vida, e motiva seus habitantes a criar e florescer em suas próprias vidas.

Sassen [5] dá primazia às pessoas. Realça que se uma cidade inteligente não mobiliza a inteligência dos seus cidadãos, então não é muito inteligente. Se assim for, é apenas a implementação de sistemas técnicos. Quando adicionamos as pessoas, tudo se torna mais complicado. As pessoas não têm apenas uma forma e não podemos controlar as suas opiniões, os desejos, as preocupações. Isto aumenta o nível de complexidade, pelo que digo que *smart* significa ser capaz de lidar com um cenário muito mais complexo do que aquele que se consegue criar num laboratório para desenvolver uma tecnologia e instalá-la na cidade.

Como se pode verificar nas definições anteriores, um conjunto de dimensões podem ser consideradas, para definir uma *smart city*, apesar do mote ser a utilização das tecnologias de informação e comunicação. Ao se falar no uso de recursos tecnológicos, nos dias de hoje, não podemos ficar alheios, ao facto, de estarmos na idade da transformação digital.

As revoluções são mudanças abruptas no poder político ou na forma organizacional de um país e, na História, ocorreram em períodos muito curtos. É difícil utilizar essa definição para caracterizar a revolução digital, no entanto, o termo é apropriado à descrição de mudanças rápidas e profundas que impactaram a estrutura da sociedade [1].

Se, em 2007, mais da metade da população urbana passa a viver nas cidades, apenas dez anos antes, em 1996, havia sido criado o protocolo HTTP, marco que assinalou o início e a democratização da Internet, originando as condições para a sociedade colaborativa. O movimento tecnológico foi acompanhado por um duplo paradigma: o do imaterial e o das redes.

Por um lado, a desmaterialização do trabalho humano individual - possível graças ao desenvolvimento de serviços e à chegada do virtual - levou ao surgimento de uma sociedade na qual o domínio do imaterial confere vantagens estratégicas.

Por outro, no contexto da sociedade da informação, foram criadas formas de organização em redes que não se ajustam à lógica de centralização dos espaços e polos de decisão convencionais. O crescimento das relações horizontais, que frequentemente transcendem fronteiras sociais e nacionais, substituiu a verticalidade das hierarquias tradicionais. É a sociedade em rede [6].

A hiperconnectividade, as alavancas da transformação digital e o impacto da sociedade colaborativa são algumas das principais dimensões dessa revolução digital [1].

É neste contexto que se enquadra o presente trabalho, que estruturalmente após esta introdução, prossegue-se com a descrição da RENER (Rede Portuguesa de Cidades

Inteligentes). Em seguida, na secção 3, descreve-se a metodologia de pesquisa, que neste caso foi a realização de um questionário. Os resultados e discussão do estudo são apresentados na secção 4. Por último, apresentam-se as conclusões à luz dos resultados, identificam-se as limitações deste estudo e propõem-se trabalhos futuros.

## II. REDE PORTUGUESA DE CIDADES INTELIGENTES

Embora a transformação digital e as *smart cities*, sejam conceitos e tenham uma abrangência mundial, este trabalho de investigação está circunscrito a Portugal. Desse modo e antes de limitar o estudo a uma ou outra região (cidade), é conveniente descrever como estão organizadas as cidades consideradas “*smart cities*”. Embora já existam várias formas de ordenar essas cidades, contudo, a que se destaca é a RENER [7].

A RENER teve a sua origem em 2009, com 25 municípios, enquanto rede piloto para a mobilidade elétrica. No âmbito do Programa de Mobilidade Elétrica, lançado pelo Governo Português, as cidades atuaram como locais de teste dos postos de carregamento e sistemas de mobilidade inteligente [7]. Destes 25 Municípios, 18 são as capitais de distrito, os restantes são as cidades de Vila Nova de Gaia, Almada, Loures, Sintra, Cascais, Torres Vedras e Guimarães.

Em 2013, a RENER apostou no alargamento temático da sua intervenção, incorporando outras áreas como a eficiência energética, as energias renováveis, a gestão de água e resíduos, a governação e cidadania, a cultura e o turismo, numa lógica de modelo holístico de “*smart cities*”. Promoveu, ainda, ao longo do último ano, o alargamento geográfico da rede com a incorporação de mais 18 municípios nacionais, ganhando escala, massa crítica e capacidade de cooperação.

A RENER foi assim oficializada em Novembro de 2013. Tratando-se de uma evolução natural da Renewable Energy Living Lab [7], criada em 2009 pela INTELI – Associação Inteligência em Inovação.

Em 2015, a rede contou a incorporação de mais três municípios, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro e Lagoa.

A RENER integra neste momento 46 municípios dispersos pelo território nacional (ver fig. 1).

Com a criação da Rede Smart Cities Portugal ([www.smartcitiesportugal.net](http://www.smartcitiesportugal.net)), todas as cidades que integram a RENER, passam também a ser associadas na nova plataforma.

A RENER integra assim 46 municípios, que funcionam como palcos de desenvolvimento e experimentação de soluções urbanas. Esta lógica de partilha de experiências entre municípios já se estendeu a Espanha, com a constituição da Rede Ibérica de Cidades Inteligentes. Atualmente esta rede ibérica conta com 111 cidades.

Em 2016 a Associação Nacional de Municípios Portugueses (ANMP), criou uma secção intitulada “Secção de Municípios Cidades inteligentes”. Esta secção integra “automaticamente” os municípios que pertencem à rede RENER, bem como, os demais que manifestam interesse em integrá-la.



Fig. 1. Mapa dos municípios que integram a RENER

No início de 2017 dos 308 Municípios Portugueses, aderiram a esta secção criada pela ANMP, 124 municípios.

### III. MÉTODO DE PESQUISA

A taxa de crescimento urbano sem precedentes cria uma urgência para encontrar formas mais inteligentes de gerir desafios [8]. Muito se tem escrito e falado nos últimos anos em smart cities, bem como, dos diferentes projetos implantados pelas cidades, por forma, a se tornarem mais inteligentes. Contudo, pouco se tem falado sobre o que os munícipes/cidadãos entendem por smart city e que projetos consideram mais importantes, de forma a transformar digitalmente a cidade onde habitam.

Com vista a caracterizar empiricamente a opinião dos cidadãos sobre smart cities, entendeu-se apropriado aplicar a técnica de inquérito, uma vez que potencia uma resposta clara, direita e objetiva às questões apresentadas aos inquiridos. Além disso, uma vez que se visava a caracterização de um número considerado de pessoas, julgou-se que este número inviabilizava ou desaconselhava a adoção de técnicas de investigação alternativas.

Segundo Almeida e Pinto [9], são consideradas algumas vantagens sobre este tipo de técnica de recolha de dados, tais como: a possibilidade de atingir grande número de pessoas, garantir o anonimato das respostas, permitir que as pessoas respondam no momento que lhes pareça mais apropriado e não expõe os questionados sob influência do questionador.

Para a execução do inquérito consideraram-se três meios de concretização possíveis: o correio tradicional (suporte físico em papel), correio eletrónico ou contacto telefónico. Procurando-se alcançar o maior número de respostas possíveis, no mais curto espaço de tempo, com um grau de fiabilidade elevado, aliada à circunstância de a extensão do questionário não implicar um elevado dispêndio de tempo, optou-se prioritariamente pelo correio eletrónico.

O desenvolvimento do levantamento compreendeu quatro fases distintas:

1. Identificação dos objetivos e público-alvo;
2. Conceção e desenvolvimento do questionário eletrónico;
3. Planeamento e logística dos meios necessários para a sua realização; e
4. Interpretação dos resultados e elaboração do presente estudo.

#### A. População

Como o público-alvo em primeira instância poderiam ser todos os cidadãos de Portugal, o que tornaria este trabalho completamente inexecutável. O foco, uma vez, que estamos a falar de smart cities, foram as cidades que integram a RENER, num total de 46.

Como cerca de 45% da população Portuguesa vive numa localidade que faz parte dessa Rede, continuava a ser impraticável a elaboração do questionário a uma amostra tão elevada.

Com a constatação de que na RENER, as cidades do interior do país são em menor número, o interesse intensificou-se por essas. Mas a questão que se colocou, foi como chegar aos cidadãos dessas cidades? Primeiro, das 10 cidades possíveis optou-se por aquelas que eventualmente possam ser consideradas mais “remotas”, pelo facto de estarem mais distantes dos grandes centros urbanos e por serem de menor dimensão.

Segundo, que cidadãos inquirir? Após uma análise relativamente profunda, uma vez que muitos critérios de seleção foram encontrados como possíveis, optou-se por um. O inquérito ser dirigido a escolas do ensino superior.

Assim, foram selecionadas duas cidades do interior do país e o estudo teve por âmbito alunos, funcionários docentes e discentes de dois Institutos Politécnicos.

Como os contactos eletrónicos estão disponíveis no portal de cada instituição, foi relativamente fácil selecionar uma amostra.

Dos 450 cidadãos que constituíam o alvo do questionário em estudo, foram enviados os 450 questionários online. Obtivemos resposta de 273 inquiridos, o que corresponde a uma taxa de resposta de 61%.

#### B. Estrutura

A estrutura do questionário resultou da revisão de literatura sobre smart cities. Esse estudo originou um número considerável de questões que poderiam ser colocadas, contudo, tendo em conta, que o objetivo era conseguir o maior número de respostas possíveis, optou-se por cingir o mesmo a um número mais reduzido e focado em questões mais gerais.

As questões do questionário, de resposta individual e de natureza confidencial, foram organizadas em quatro grupos. O primeiro grupo corresponde à caracterização, onde estão incluídas questões relacionadas com a idade, género, se é aluno, funcionário docente ou discente. O segundo grupo está relacionado com a questão principal deste estudo, que é saber o que entendem por uma smart city? O terceiro grupo pretende perceber que áreas consideram mais prioritárias (saúde, educação, segurança, mobilidade e meio ambiente, economia,

gestão municipal etc.) e dentro destas quais as que encontra mais implementadas na sua cidade, foram também questionadas se consideram os recursos tecnológicos importantes na transformação da cidade e quais considera mais prementes, outra questão colocada neste grupo foi, quem deve liderar o projeto smart city, terminando com a questão, se consideram a cidade onde vivem inteligente.

#### IV. RESULTADOS

O conceito smart cities tem vindo a dominar quer a literatura académica quer a agenda das políticas públicas [10]. Verifica-se um crescente número de projetos implementados nas cidades em todo o mundo, mas também em Portugal, transformando-as e tornando-as mais “Smart”.

Os dados analisados para a apresentação destes resultados foram produzidos com base numa amostra representativa de alunos, docentes e discente do ensino superior politécnico, sendo esta constituída por, 59% inquiridos do género masculino e 41% do género feminino.

As idades dos inquiridos variam entre 19 e 63 anos. Das 273 respostas ao inquérito, 198 são alunos, 58 são funcionários docentes e os restantes 17 são funcionários discentes.

O segundo grupo do inquérito, questionava os inquiridos sobre o que entende por uma smart city. Sabemos da dificuldade desta resposta e para melhor se compreender essa dificuldade, citamos Jonglez [11], que entende que não há uma maneira de ser smart city. Há tantas cidades inteligentes quantas cidades há, dependendo da sua história, dos ativos, dos objetivos estratégicos, dos recursos e da capacidade de angariar fundos. É isto que, por vezes, torna difícil compreender o conceito – o facto de não existir uma receita e de se referir a uma ampla série de potenciais melhorias, desde a mobilidade urbana ao consumo de energia, do urbanismo à segurança pública, da saúde ao desenvolvimento económico, na maioria dos casos, com uma fundação sólida no desenvolvimento sustentável.

Dos 273 inquiridos, 62 responderam que não sabiam o que era uma smart city, não podendo assim, definir uma. Nas restantes respostas (211), obtiveram-se as mais variadas definições, das quais se transcrevem seguidamente, algumas delas:

“São cidades amigas do ambiente, onde é incentivado o uso de transportes públicos e outros meios, que não poluam tanto o ambiente”.

“... com ciclovias, que têm à disposição bicicletas partilhadas, para o uso de toda a população”.

“São cidades que têm projetos que permitem gastar menos energia elétrica, apostando em outras fontes de energia”.

“São cidades consideradas inteligentes, que apostam no uso das tecnologias de informação, para facilitar a vida de quem nelas habita”.

“Cidades que utilizam tecnologias de informação e comunicação, assim como, redes digitais, podem ser consideradas cidades inteligentes...”.

“... é uma cidade onde se encontra à disposição do cidadão, formas fáceis, acessíveis e sustentáveis, que lhes proporcionem qualidade de vida”.

Como se constata é difícil chegar a um único conceito para definir uma smart city. No entanto, pode-se dizer, que das respostas obtidas, há aspetos mais abordados, que nos permitem dizer que para os inquiridos deste estudo, uma smart city é aquela que tem implementadas um conjunto de projetos, utilizando a tecnologia como meio de melhorar a qualidade de vida das pessoas que habitam nessas cidades.

Relativamente às áreas que consideram merecer uma aposta prioritária, para que uma cidade seja considerada uma smart city, obtiveram-se os seguintes resultados.

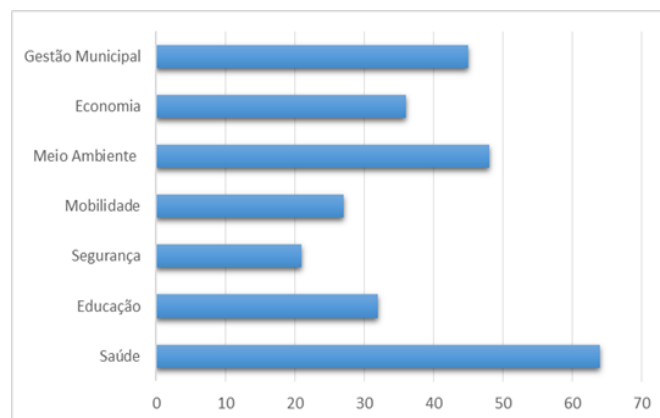


Fig. 2 Áreas prioritárias

Como se pode observa na Fig. 2, os cidadãos inquiridos, consideram a “Saúde” como área prioritária (64), como resultados intermédios, destaca-se o “Meio Ambiente” com (48) respostas, seguindo-se a “Gestão Municipal” com (45), com resultados muito próximos, segue-se a “Economia” com (36) e a “Educação” com (32), as áreas que obtiveram menos resultados foram a “Mobilidade” com (27) e a “Segurança” com (21) respostas.

As smart cities, são considerados sistemas muito complexos que abarcam diferentes áreas através de projetos que procuram intervir a vários níveis. A questão que inquiria, que áreas encontra mais implementadas na sua cidade, obteve as respostas expressas na Fig. 3.

As áreas que os cidadãos inquiridos, destacaram como mais implementadas na sua cidade, é a “Mobilidade” com (68) respostas, com um número idêntico está o “Meio Ambiente” com (62). Numa posição intermédia, encontra-se a “Segurança” e a “Gestão Municipal”, com (43) e (34) respetivamente. Numa posição inferior, estão a “Educação” com (25), a “Saúde” com (21), e a “Economia” com (20) respostas.



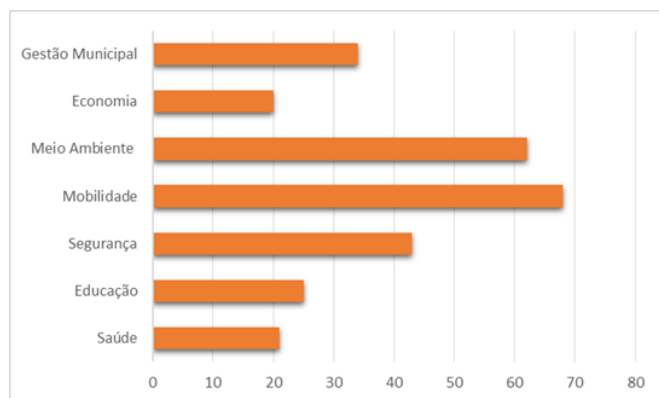


Fig. 3 Áreas implementadas

Cada cidade tem uma abordagem diferente, mas há muitos exemplos e experiências interessantes em todo o mundo. Cidades diferentes focam-se em áreas diferentes: por exemplo Singapura está a explorar novas abordagens à mobilidade, Copenhaga à sustentabilidade, Boston à participação cívica [12].

Comparando o que entendem por áreas prioritárias e aquelas que constataam, com maior ou menor relevo nas suas cidades, verifica-se uma enorme discrepância. Desde logo, a área que eles consideram mais importante (Saúde) é aquela que efetivamente entendem como mais descuidada (abaixo só está a economia com menos uma resposta).

Outro destaque vai para a área que eles consideram mais implementada na sua cidade (Mobilidade), onde não mereceu respostas significativas quanto à sua prioridade.

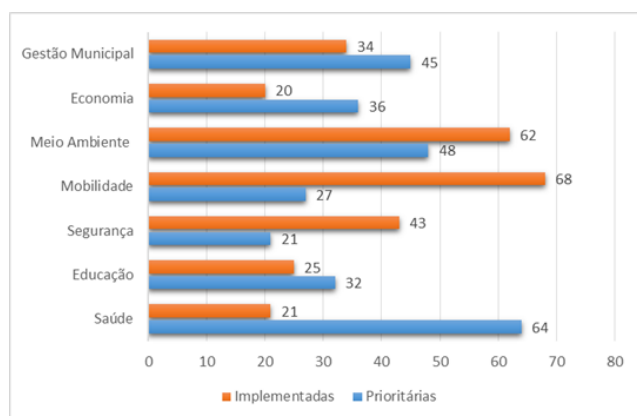


Fig. 4 Relação entre Áreas prioritárias e implementadas

Embora alguns autores considerem que o foco não deve ser na tecnologia, mas sim nas pessoas. Como diz Ratti [12], “os cidadãos primeiro”. Por isso, em vez de nos centrarmos demasiado na instalação e no controlo de hardware, é importante incentivar as pessoas a levar a cabo ações numa dinâmica bottom-up [da base para o topo]. Se conseguirmos desenvolver as plataformas certas, as pessoas podem ser protagonistas na transformação urbana.

Com o foco com maior ou menor prioridade nas tecnologias, esse tem de existir. Há áreas de intervenção que sem os recursos tecnológicos não se consideraria um conceito

“smart” e não contribuiriam para a melhor qualidade de vida dos cidadãos que moram nessas cidades ou que as visitam.

Questionados sobre que recursos tecnológicos/projetos consideram prementes, implementar, que promovam uma verdadeira transformação digital, obtiveram-se os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 1 a 7. Esses resultados estão divididos por área de atuação (Gestão Municipal, Economia, Meio Ambiente, Mobilidade, Segurança, Educação e Saúde).

Os resultados apresentados foram retirado de um número considerado de respostas e agrupados em três projetos por área (aqueles mais indicados). É de salientar que as respostas tinham nomes muitos diferentes que foram igualmente agrupados dentro do mesmo tema.

A interação e participação dos cidadãos em cidades do interior, com os municípios é uma constante. A forma como é feita é que pode ser alterada com recursos às tecnologias de informação e comunicação. A Tabela 1 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar nessa área.

TABLE I. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –GESTÃO MUNICIPAL

GESTÃO MUNICIPAL
Serviços online
Gestão e acesso a dados abertos
Plataformas que integrem vários serviços

A inovação tecnológica cria oportunidades para o desenvolvimento económico das cidades. A Tabela 2 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar na área económica.

TABLE II. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –ECONOMIA

ECONOMIA
Plataformas de informação turística, reservas online e mapas da cidade
Espaços de coworking e ações de incentivo a startups
Incentivos ao desenvolvimento da economia criativa

A sustentabilidade ambiental é hoje um grande desafio para as cidades. A Tabela 3 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar nessa área.

TABLE III. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –MEIO AMBIENTE

MEIO AMBIENTE
Programas para a gestão de resíduos
Gestão da eficiência energética em edifícios
Iluminação pública (LED)

O crescimento desordenado e a consequente falta de planeamento das cidades afetam a mobilidade dos cidadãos nessa cidade. A Tabela 4 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar nessa área.

TABLE IV. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –MOBILIDADE

MOBILIDADE
Semaforização inteligente
Monitorização das emissões de dióxido de carbono
Informação em tempo real da localização de determinados veículos

Os recursos tecnológicos na área da segurança contribuem para a criação de ambientes urbanos mais protegidos, tornando as cidades mais seguras para os que lá habitam, bem como, para os que as visitam. A Tabela 5 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar na área da segurança.

TABLE V. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –SEGURANÇA

SEGURANÇA
Videovigilância e análise de imagens
Cibersegurança
Sistemas tecnológicos de localização por meio de GPS

Os recursos tecnológicos têm de estar presentes e serem devidamente explorados na área da educação. A interação digital entre professores, alunos e os seus familiares tem de ser uma realidade nos dias de hoje. A Tabela 6 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar nessa área.

TABLE VI. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –EDUCAÇÃO

EDUCAÇÃO
Dispositivos tecnológicos, quadros interativos e programas interativos
Plataformas digitais
Disponibilização de conteúdos digitais online

A população do interior do país regista habitantes muito envelhecidos, que vivem sozinhos e isolados. Embora a área da Saúde seja transversal às diferentes fchas etárias a população idosa merece aqui mais destaque. A Tabela 7 apresenta algumas soluções tecnológicas a implementar na área da saúde.

TABLE VII. SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS –SAÚDE

SAÚDE
Disponibilidade de remédios por unidade
Programas de saúde para uma vida saudável
Acompanhamento remoto de idosos

Após a questão sobre que soluções tecnológicas assinalariam uma verdadeira transformação digital. Os inquiridos foram questionados sobre quem deveria liderar o projeto smart city. A resposta a esta questão é visualizada na Fig. 5.

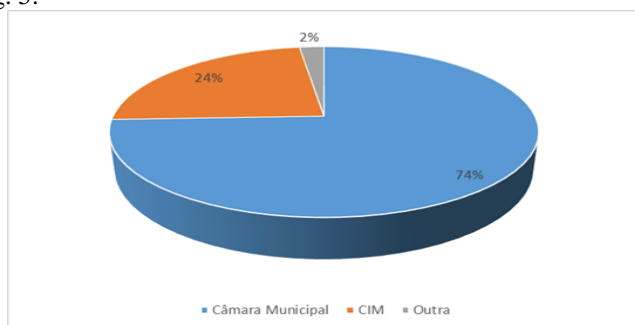


Fig. 5. Liderança do projeto smart city

Conforme se observa no gráfico anterior, os inquiridos consideram que a liderança do projeto smart city, deve ser feito pelas Câmaras Municipais, 74% responderam nesse sentido. Com 24 % estão as Comunidades Intermunicipais

(CIM) e por último com apenas 2% referem-se a eventuais associações criadas para o efeito.

A última questão do inquérito questionava os inquiridos, sobre se considera a cidade onde vive inteligente. E embora possa parecer um contrassenso, uma vez que os projetos que eles gostariam de ver implementados nas suas cidades serem muito díspares daqueles que efetivamente merecem atenção por parte das entidades, a resposta foi de 70% para o sim. Ou seja 192 inquiridos consideram a cidade onde vivem uma smart city, contra 81 cidadãos que não a consideram uma smart city.

## V. CONCLUSÃO

O estudo apresentado teve como base a elaboração de um inquérito dirigido a 450 cidadãos do interior de Portugal, desses obtivemos a resposta de 273, o que corresponde a uma taxa de resposta de 61%. Com este inquérito pretendia-se saber o que entendem os inquiridos por uma smart city e que recursos tecnológicos consideram mais prementes, de verem implementados na sua cidade, de forma a se verificar uma verdadeira transformação digital.

Com este trabalho, procurou-se contribuir para um maior conhecimento, no que diz respeito à opinião dos munícipes sobre as smart cities e esperamos que os resultados apresentados contribuam para trabalhos futuros, sobre a temática versada.

Hoje em dia o uso do conceito "smart" capta transformações digitais inovadoras, impulsionadas por novos recursos tecnológicos. No entanto, outros fatores sociais além das tecnologias inteligentes são centrais para as smart cities.

O foco deste trabalho foi a componente tecnológica, este facto pode ser considerado como uma limitação. Outras componentes poderiam ter sido abordadas mais profundamente, nomeadamente a componente humana e institucional, embora se tivesse considerado que a abordagem a estas componentes em simultâneo poderiam toldar os resultados.

De entre os trabalhos futuros a realizar realça-se o estudo da componente humana. Até que ponto os munícipes adotam atitudes e uma cultura "smart", que medidas estão a ser implantadas que alterem determinados comportamentos, por forma, a que os munícipes usufruam em pleno dessas transformações digitais, que lhes proporcionam maior qualidade de vida.

## AGRADECIMENTOS

UNIAG, R&D unit funded by the FCT – Portuguese Foundation for the Development of Science and Technology, Ministry of Science, Technology and Higher Education. . Project n. ° UID/GES/4752/2016.

## REFERENCES

- [1] M. Cunha, E. Przybilovicz, J. Macaya, and F. Burgos, "Smart Cities: Transformação Digital de Cidades," Programa Gestão Pública e Cidadania – PGPC, Centro de Estudos em Administração Pública e Governo, 2016.

- [2] F. Cardoso, Primeira norma ISO para as cidades, Revista Smart Cities, Agosto, 2014.
- [3] G. Coimbra, Smart Cities Benchmark 2015, International Data Corporation (IDC), 2015.
- [4] P. Rios, Creating “the smart city”, 2008 (available at [http://dspace.udmercy.edu:8080/dspace/bitstream/10429/20/1/2008\\_rios\\_smart.pdf](http://dspace.udmercy.edu:8080/dspace/bitstream/10429/20/1/2008_rios_smart.pdf)).
- [5] S. Sassen, “É fantástico olhar para a longa vida de uma cidade”, Entrevista dada a F. Cardoso, Smart Cities, nº 12, Jul/Ago/Set 2016, pp. 22-25.
- [6] M. Castells, A Galáxia da Internet, Reflexões sobre a Internet, os Negócios e a Sociedade, Zahar Editora, 2013.
- [7] Renér, Renér Living Lab – Rede Portuguesa de Cidades Inteligentes, A Rede. <http://rener.pt/a-rede/> (16 de Fevereiro de 2016).
- [8] N. Talwo and T. Pardo, Conceptual Smart City with Dimension of Technology, People, and Institutions, Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research, 2011, pp. 282-291.
- [9] J. F. Almeida, and J. M. Pinto, A Investigação nas Ciências Sociais. 5ª edição Lisboa: Editorial Presença, 1995.
- [10] C. Silva, C. Selada, D. Guerreiro, P. Afonso and R. Melo, Índice de Cidades Inteligentes – Portugal, INTELI – Inteligência em Inovação, Centro de Inovação, 2012.
- [11] D. Jongles, A tecnologia está a infiltrar-se nas cidades, Revista Smart Cities – Cidades Sustentáveis, Out/Nov/Dez 2016, 2016, pp. 56 – 59.
- [12] C. Ratti, Os veículos autónomos prometem ter um impacto enorme na vida urbana, Revista Smart Cities – Cidades Sustentáveis, Jan/Fev/Mar 2017, pp. 56 – 57.



# DROOd<sup>®</sup>

## Desidratação de fruta e vegetais por ar seco

Joana Fernandes  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29423@alunos.ipb.pt

Ricardo Lamas  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a27233@alunos.ipb.pt

Anaísa Pinto  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a27715@alunos.ipb.pt

Rúben Martins  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a30307@alunos.ipb.pt

Carlos Oliveira  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29518@alunos.ipb.pt

Tânia Cerdeira  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a31011@alunos.ipb.pt

Felipe Teixeira  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a26171@alunos.ipb.pt

Tiago Vila Franca  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a30313@alunos.ipb.pt

Pedro Borges  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29510@alunos.ipb.pt

Tiago Fitas  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a27887@alunos.ipb.pt

Pedro Gouveia  
ESTIG, IPB  
Bragança  
a29325@alunos.ipb.pt

Luís Frölen Ribeiro  
Departamento de Tecnologia Mecânica  
ESTIG, IPB  
Bragança  
frolen@ipb.pt

**Resumo** — Apresenta-se um equipamento capaz de desidratar alimentos que poderá ser adquirido por pequenos agricultores. A proposta de um equipamento que consegue desidratar os produtos produzidos através de ar seco com uma potência equivalente à de um eletrodoméstico, 1,4 kW, tendo a capacidade de desidratar até 4 kg de frutas ou vegetais. Apresenta-se a simulação do funcionamento do equipamento a secar o equivalente a 23 tomates ou 24 bananas ou 21 laranjas simultaneamente distribuídos em 7 tabuleiros individuais, demorando 10, 8 e 9h, respetivamente, a serem desidratados.

**Palavras-Chave** — Alimentos; ar seco; desidratação.

### I. INTRODUÇÃO

Portugal é um país em que as pessoas produzem cada vez mais legumes e frutas para consumo próprio, e que muitas vezes essa produção ultrapassa o que cada família consegue consumir, levantando a questão da conservação doméstica atendendo,

contudo à manutenção das características dos produtos produzidos [1].

Para se ter mais ou menos uma noção sobre o mercado que seria abrangido por este equipamento, fez-se uma estimativa e teve-se em conta que Portugal tem cerca de 10 milhões de habitantes, que em cada família existem 3 pessoas com uma horta, cuja maior concentração de hortas é no interior. Considerando que apenas metade das famílias possuem pequenas hortas, obtém-se um valor de aproximadamente 1,7 milhões de pequenas hortas o que poderá equivaler ao valor estimado do mercado de máquinas de ar seco [1].

A conservação de alimentos surgiu com a necessidade de manter os alimentos dentro de todas as normas de qualidade, durante períodos de tempo cada vez mais longos. Para tal, nasceu a indústria e a tecnologia de conservação de alimentos [2].

Os processos de conservação de alimentos são baseados na eliminação total ou parcial dos agentes que alteram os produtos, sejam de natureza biológica (microrganismos), sejam de natureza química (enzimas). Os métodos de conservação consistem na aplicação de alguns princípios físicos ou químicos tais como: o uso de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, aplicação de aditivos conservantes, armazenamento em atmosfera controlada, o uso de certas radiações e filtração [3].

Devido à significativa perda de qualidade observada nas técnicas de conservação convencionais, têm-se vindo a desenvolver técnicas de secagem mais avançadas. Estas técnicas podem ser utilizadas isoladas ou combinadas com outros métodos de secagem [4].

Uma das técnicas de conservação de alimentos é a liofilização que consiste na secagem de alimentos removendo a água através da sublimação. Esta técnica ocorre quando o alimento congelado, isto é, quando toda a água que constitui o alimento está sob a forma de gelo, é submetido a condições de pressões muito baixas. O alimento é colocado em câmaras herméticas e o ar que está dentro da câmara é removido através de bombas de vácuo, criando condições para que ocorra a sublimação da água. A água passa do estado sólido para o gasoso a temperaturas muito baixas e sem a presença de oxigénio. A desvantagem desta técnica é o fator económico, visto ser um processo bastante caro [5]. Na Figura 1 é possível observar o processo de liofilização. Pois baixando a temperatura, a uma pressão constante, a água presente nos alimentos vai solidificar. Seguidamente, baixa-se a pressão, mantendo-se a temperatura constante, e vai passar do estado sólido para o estado gasoso.

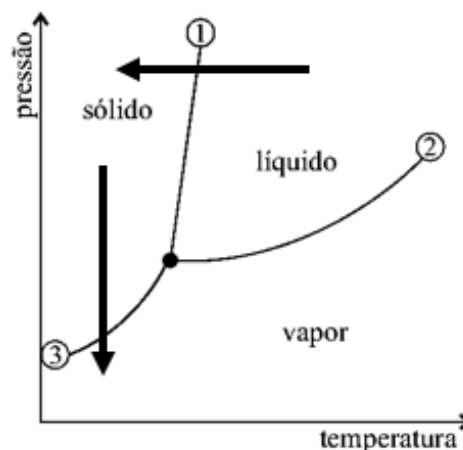


Figura 1 – Diagrama de Estados com as Etapas da Liofilização [6]

Está a tentar-se experimentar uma nova técnica que é a secagem por ar seco frio. Esta técnica consiste em fazer circular ar seco dentro da câmara hermética fazendo com que a água presente nos alimentos seja transferida para o ar devido à diferença de concentração de água entre o alimento e o ar. Esta técnica é indicada para produtos como as proteínas e vitaminas, uma vez que, conserva as propriedades nutritivas, pois a membrana celular não rompe com a perda do vapor de água. Esta técnica comparando com a liofilização, a nível de alimentos, obtém-se o mesmo resultado, a diferença é o fator económico, visto que, esta técnica é muito mais barata [5].

Como se pode verificar na Figura 2, quando secamos estamos a deslocar para a esquerda, na horizontal, até a humidade relativa ser 100% (condensa). Caso se tenha uma temperatura ambiente de 25°C e uma humidade relativa de 60%, ao baixar-se a temperatura para 10°C a quantidade de água reduz de 12 gH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> para 5 gH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, sendo retirados 7 gH<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>.



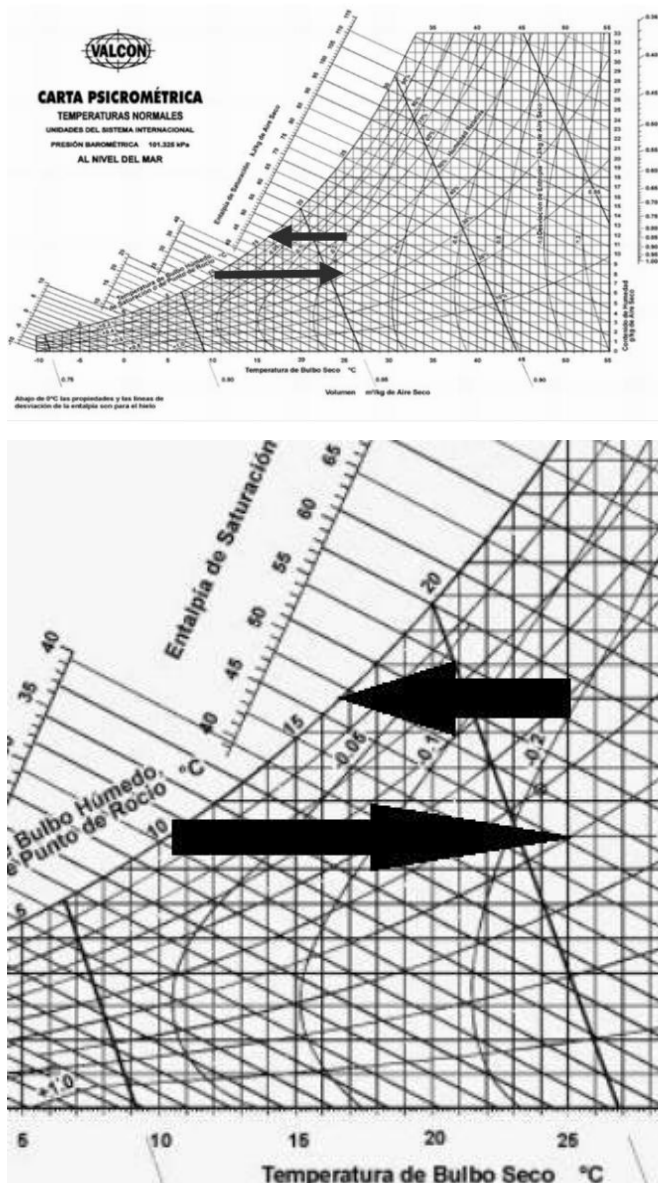


Figura 2 - Carta Psicrométrica. Estão Representados Pontos Exemplificativos do Funcionamento da Máquina [7]

## II. MODELO MATEMÁTICO

Ao longo deste estudo foram tidos em conta vários parâmetros. Sendo projetado para pequenos agricultores, pretende-se um eletrodoméstico com boa estética, de fácil arrumação e um preço acessível.

A estrutura física do equipamento é composta por 7 tabuleiros com 290 mm de diâmetro.

Tendo em conta que um tomate médio tem cerca de 8 cm de diâmetro [7] é possível colocar 13 rodela de tomate em cada tabuleiro. Havendo 7 tabuleiros consegue-se desidratar 23

tomates de cada vez, isto, se cada rodela de tomate for cortada anteriormente com 2 cm de espessura.

Foi feita uma aproximação do problema a um modelo físico para calcular a transferência de massa entre um fluido em movimento e uma superfície estacionária. Considerou-se o modelo de transferência de massa por convecção numa placa plana, tratando-se apenas de uma primeira aproximação, pois neste modelo o fluido em movimento desloca-se paralelamente à superfície estacionária. A seguinte equação (1) permite calcular a taxa dessa transferência:

$$W_A = A \times \overline{K}_c \times (C_{AS} - C_{A\infty}) \quad (1)$$

A equação (1), relaciona a área da superfície plana  $A$  (tomates laminados) com o coeficiente de transferência de massa por convecção,  $K_c$  (2), e a diferença entre a concentração de vapor de água à superfície da placa,  $C_{AS}$  (3) e a concentração de vapor de água presente no ar,  $C_{A\infty}$ , sendo que, a concentração de vapor de água no ar seco é 0.

$$\overline{K}_c = \frac{\int_A k_{cx} dA}{\int_A dA} \quad (2)$$

$$C_{AS} = \frac{P_A^*}{RT} \quad (3)$$

A taxa de transferência de massa por convecção calculada foi de 0,0145 g/s. Sabendo que, 94% da massa do tomate é água, valor consultado em tabelas termodinâmicas, é possível desidratá-los em 2 dias e 14 horas. Na Figura 3, pode-se observar a relação entre a taxa de transferência de massa com o tempo, podendo-se concluir que ao fim de 10h a quantidade de água é residual, não se justificando continuar com a desidratação.

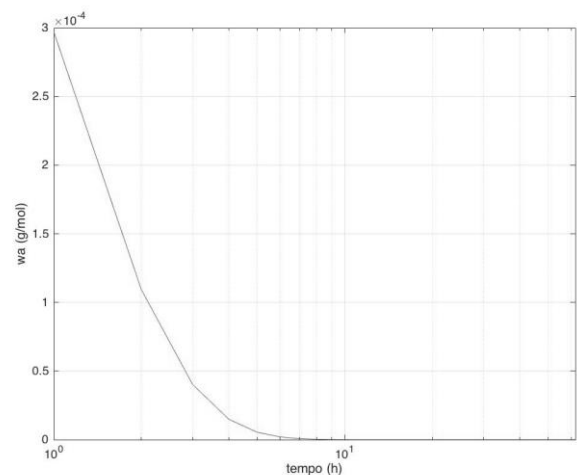


Figura 3 - Evolução da Desidratação dos Tomates ao Longo do Tempo.

Foi calculado para mais dois frutos o tempo de desidratação. Para o calculo destes frutos utilizou-se o mesmo método que para os tomates. Esses tempos e frutos podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Taxa de humidade e tempo de desidratação

Alimentos	Nº de Alimentos na Dood	Taxa de Humidade (%)	Tempo de Desidratação (h)
Tomates	23	94	10
Banana	24	75	8
Laranjas	21	87	9

Para se calcular a capacidade de refrigeração necessária aplicou-se a seguinte equação (4):

$$Q = \dot{m} \times C_p \times (T_1 - T_2) + \dot{m}(\Delta H) \quad (4)$$

$$\dot{v} = A \times v \quad (5)$$

Com um caudal volúmico,  $\dot{v}$ , de 0,0176 m<sup>3</sup>/s pode calcular-se o caudal mássico, 0,022 kg/s. Assim sendo, determinou-se que a capacidade é de 900 W. A Potência máxima do equipamento é a soma das potências da equação (4) com 100W do ventilador e 400 W da resistência, que é 1400 W, P<sub>max</sub>.

### III. FUNCIONAMENTO

Este equipamento está a ser desenvolvido para secar alimentos no âmbito doméstico.

Considerou-se que este eletrodoméstico funciona em temperaturas ambiente entre 15 a 25°C. Assim sendo, é necessário que a serpentina fria esteja a cerca de 10°C para ocorrer condensação. Para fazer circular o ar é utilizado um ventilador capaz de o fazer circular a uma velocidade 0.8m/s.

O sistema funciona em circuito fechado. O ar presente na câmara é forçado a passar por uma serpentina fria, obrigando a água presente no ar a condensar, escorrendo para uma gaveta. Através da sucção criada pelo ventilador o ar é obrigado a subir e a atravessar por uma resistência quente. Voltando a aquecer até à temperatura ambiente e atravessar os alimentos. Uma vez que, o ar contém menor percentagem de humidade relativa, vai ocorrer transferência da água presente nos alimentos para o ar. O ar torna-se húmido novamente, sendo necessário que se repita de novo o ciclo até o alimento estar seco.

Na Figura 4 é possível ver-se o esquema da circulação do ar.

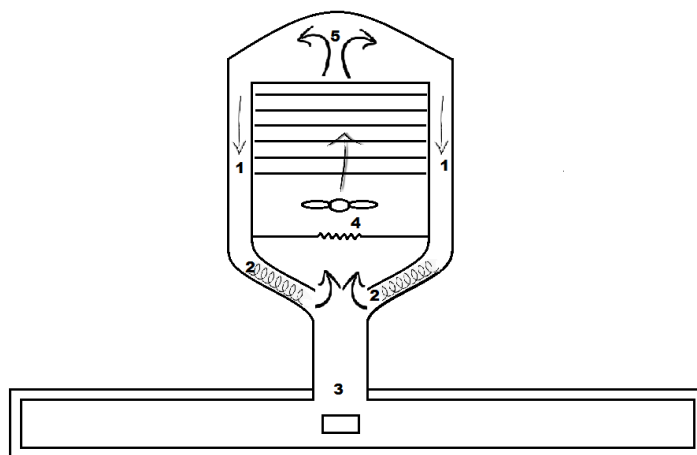


Figura 4 - Esquema de Circulação do Ar. 1 – Entrada de ar na câmara exterior; 2 – Serpentina fria/ condensação; 3 – Condensados; 4 – Aquecimento do ar e ventilação do ar; 5 – Saída de ar da câmara interior.

Este processo será repetido até que a diferença do valor atual medido seja inferior a 0,1% em relação ao anterior.

Na Figura 5 é possível observar o esquema de funcionamento do eletrodoméstico.

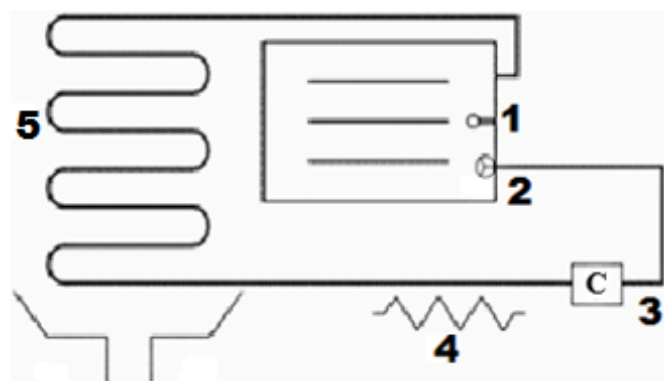


Figura 5 - Esquema de Funcionamento. 1- Sensor de humidade e temperatura; 2 – Ventilador de circulação do ar; 3 – Compressor do gás refrigerante; 4 – Resistência de Aquecimento; 5 - Serpentina Fria.

### IV. ALGORITMO

A fim de ligar a máquina, faz-se um teste para verificar se esta se encontra bem fechada, garantindo que não exista qualquer fuga de ar (não pretendida) durante o seu funcionamento. Assim, por leitura de um sensor de contacto, caso a tampa esteja fechada, um LED vermelho acende, desligando o LED verde. Esta combinação de cores tem como propósito avisar o utilizador que este não deve de abrir a máquina. Seguidamente, o ventilador liga, começando o ar a circular no interior da máquina. É ativado, então, o sensor de humidade e temperatura. Enquanto o valor destes continuar superior a 0,1% , comparativamente ao valor registado anteriormente, a máquina continua ligada, caso o valor seja inferior, o LED vermelho e a ventoinha desligam.

Todo este processo está sumariado no seguinte fluxograma representado na Figura 6.

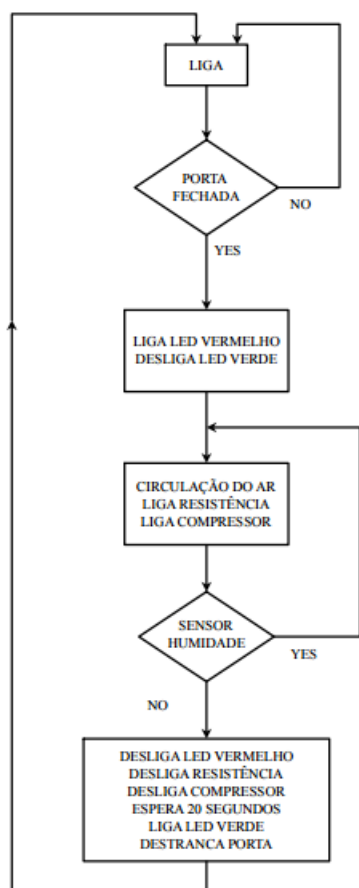


Figura 6 - Fluxograma de Funcionamento

## V. MATERIAL E ESTRUTURA

Foi necessário obter informações sobre a forma mais adequada para o equipamento e o material a utilizar para a construção. Percebeu-se que a melhor forma para a câmara interna era cilíndrica para mitigar a ocorrência de diferentes pressões em pontos distintos da câmara interna e permitir uma circulação mais uniforme de ar. Relativamente ao material a ser utilizado será um plástico termoendurecível, visto a produção em série com consequente redução de custos. Este material não está sujeito à corrosão e suporta as temperaturas de operação, é leve e permite um acabamento mais estético

Para a modelação do equipamento foi necessário ter em conta o espaço que os circuitos elétricos iriam ocupar, a forma interior e a exterior. Foi, também, tido em conta que este equipamento é para uso doméstico e que não poderia ser muito grande, teria de ser semelhante, em tamanho, a um forno. Na Figura 7 é possível observar-se o modelo do equipamento.

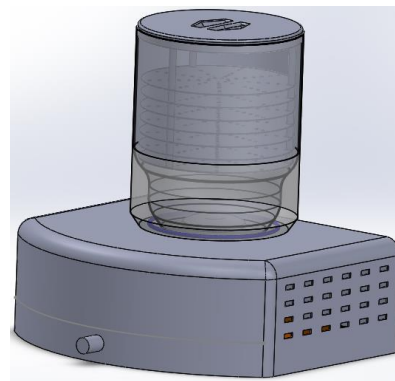


Figura 7 - Desenho 3D do Equipamento

Para uma maior facilidade ao retirar os tabuleiros, estes foram acoplados uns aos outros e à tampa através de varetas. Assim, quando a tampa é aberta e removida (na vertical) o conjunto de tabuleiros sai agarrado a ela. Os tabuleiros possuem pequenas aberturas na sua base, a fim de, facilitar a passagem de ar entre eles, facilitando ainda a absorção de água por parte do ar. A Figura 8 representa a tampa com os respectivos tabuleiros acoplados.

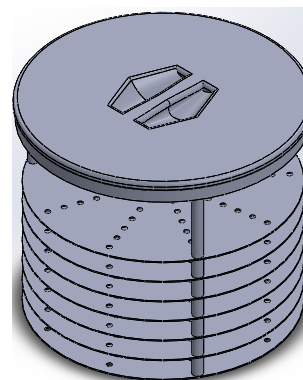


Figura 8 - Esquema de Representativo da Tampa e Tabuleiros

A parede exterior da câmara é feita de vidro para que o utilizador possa observar o processo de secagem do alimento. A toda a volta da base encontram-se pequenas entradas de ar para proporcionar ventilação para o compressor. Nas paredes laterais da base, verifica-se a existência de portas, para que, a manutenção do equipamento seja possível.

Relativamente à tampa do equipamento, esta possui um encaixe simples (que só se encontra realmente vedada após a rotação da mesma em 90 graus no sentido horário). Esta possui ainda uma forma ergonómica para tornar confortável a sua utilização e, ao mesmo tempo, não reduzir o seu propósito prático.

Por fim, a base da estrutura apresenta uma forma retangular com um acabamento (na parte frontal) em meia-lua, de forma a torna-la prática e agradável.

## VI. CONCLUSÕES

Apresenta-se uma proposta de modelo de um equipamento doméstico de desidratação de frutas e vegetais com o objetivo de estar presente no quotidiano de uma família. A este equipamento foi-lhe atribuído o nome de Droid, pois é a junção de *Dry* e *Food* (inglês), que em português significa alimento seco.

Este equipamento realiza o seu ciclo de trabalho em 12 horas e tem uma potência de 1400W.

Devido ao facto de ser produzida com materiais de baixo custo, contudo, eficientes, o seu preço será reduzido, o que favorece a implementação da máquina no dia-a-dia. O seu preço rondará os 200€. As suas dimensões reduzidas permitem a sua incorporação em qualquer ambiente que o consumidor pretenda, como, por exemplo, numa cozinha.

A baixa velocidade de circulação do ar, não causa incómodo para o utilizador e garante que os alimentos não percam as suas qualidades.

Por outro lado, possui uma fácil interação entre o utilizador e a máquina, garantindo a segurança do utilizador e um simples manuseamento.

Por último, este equipamento traz benefícios ao consumidor, uma vez que, consegue conservar os alimentos durante um longo período de tempo, permitindo, assim, que não haja desperdício dos alimentos produzidos, e que o consumidor consiga comer alimentos com qualidade durante todo o ano, fora da época de colheita.

## REFERÊNCIAS

- [1] “PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo,” Fundação Francisco Manuel Dos Santos, [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal>. [Acedido em 15 Maio 2017].
- [2] A. Freitas e P. Figueiredo, *Conservação de Alimentos*, Lisboa, 2000.
- [3] R. Lopes, “Conservação de alimentos,” 2007.
- [4] S. R. D. a. V. G. Raghavan, “Advancements in Drying Techniques for Food, Fiber, and Fuel,” Taylor & Francis Group, Canada, 2012.
- [5] H. Terroni, J. D. Jesus, L. Artuzo, L. Ventura e R. Santos, “Liofilização,” *Revista Científica Unilago*.
- [6] “Química e Vestibular,” [Online]. Available: <http://quimicaevestibular.com.br/caderno-bom/lista-de-exercicios-1-parte-2/>. [Acedido em 15 Maio 2017].
- [7] S. Ferreira, R. Freitas e E. Lazzari, “Padrão de Identidade e Qualidade do tomate de mesa,” *Ciência Rural*, vol. 34, 2004.

# *Avaliação do Valor Natural da Paisagem: o Caso da Fragmentação do Carvalho (*Quercus pyrenaica* Willd.) no Parque Natural de Montesinho*

João Vitor Martins Macome<sup>1</sup>; José Manuel Correia Santos  
Ferreira Castro<sup>2</sup>

Mestrando em Tecnologia Ambiental<sup>1</sup> – IPB  
Professor Doutor, Departamento do Ambiente e Recursos  
Naturais,<sup>2</sup>  
Instituto Politécnico de Bragança - IPB  
Bragança – Portugal  
joaovitor\_macome@hotmail.com<sup>1</sup>  
mzecast@gmail.com<sup>2</sup>

Edivando Vitor do Couto  
Professor Doutor, Departamento Acadêmico de  
Ambiental  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR,  
campus Campo Mourão  
edivandocouto@gmail.com

**Resumo** — O presente trabalho analisa a fragmentação da paisagem, nomeadamente das florestas de carvalho (*Quercus pyrenaica* Willd.) no Parque Natural de Montesinho (PNM) localizado no nordeste de Portugal. O PNM é uma área Protegida muito importante para a preservação dos ecossistemas naturais e seminaturais da região. Estende-se por aproximadamente 75000 hectares e as características dos seus bosques de *Quercus pyrenaica* Willd., os carvalhais, representa um dos processos mais importantes para a manutenção da biodiversidade. Com o auxílio de *softwares* livres, como o QGIS e o FRAGSTATS, foi possível avaliar a configuração da paisagem desta área Protegida registrada em mapas de ocupação do solo com duas origens distintas: Corine Land Cover (CLC 2012) e Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS 2007). A metodologia se baseia na estimação de métricas da paisagem selecionadas criteriosamente para a aplicação a essas duas cartografias. Os resultados obtidos apontam para diferenças importantes nos valores das métricas para cada base cartográfica, onde o valor da métrica NP (Número de manchas) por exemplo, para a cartografia COS é quase 7 vezes maior comparado ao valor para a cartografia CLC, podendo atestar a validade de ambas as cartografias para avaliar importante informação sobre o estado da fragmentação dos carvalhais, ainda que importaria contrastar os seus resultados com trabalho de campo para uma mais correta tomada de decisão na gestão da paisagem do PNM. Nesse sentido, e atendendo a diferença de resultados, justifica-se num futuro próximo, uma cartografia mais rigorosa e atenta para analisar os verdadeiros e atuais valores dos carvalhais no PNM, bem como a sua evolução mais recente.

**Palavras-chave** — fragmentação; carvalhais; métricas da paisagem.

## I. INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos anos o Parque Natural de Montesinho (PNM) vem assistindo ao reestabelecimento do seu coberto vegetal natural. Esta dinâmica pode ser atribuída a processos que ocorreram simultaneamente ao longo do tempo: a implantação da mecanização agrícola que se deu a partir dos anos 60, ocasionando assim, a diminuição da população

agrícola ativa, que procurando uma melhor forma de vida emigrou para os grandes centros urbanos no País e no estrangeiro [1].

Através de mapas de ocupação do solo e *softwares* específicos, como o FRAGSTATS, é possível analisar o comportamento destas alterações que ocorreram ao longo do tempo, bem como identificar o seu impacto na vegetação florestal natural, nomeadamente nos carvalhais, um dos maiores valores naturais do PNM. As potencialidades do *software* FRAGSTATS são diversas, visto que através dos cálculos de suas métricas, pode-se quantificar a composição, a configuração e a conectividade de espaços expressados por um mapa qualitativo [2].

O objetivo do presente trabalho será, com a ajuda de *softwares* livres e métricas da paisagem, analisar as diferenças na avaliação da configuração espacial dos carvalhais do PNM, no caso a *Quercus pyrenaica* Willd., conhecida como carvalho-negral (Fig. 1) relativamente a duas cartografias de ocupações do solo diferentes: Corine Land Cover (CLC 2012) [3] e [8] e Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS 2007) [4]. Pelo uso do QGIS versão 2.18.1 [5] e posteriormente através dos cálculos das métricas da paisagem executadas no *software* FRAGSTATS, versão 4.2.1 [6], foi possível determinar a configuração espacial dos carvalhais e as diferenças de resultados relativos às suas versões mais atuais.





Fig. 1. Bosque de carvalho-negral do PNM.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Área de Estudo

A área de estudo, o Parque Natural de Montesinho (PNM) com uma área aproximada de 75000 hectares (ha), localizado no nordeste de Portugal (Fig. 2), apresenta um total de 1099 espécies vegetais [7], distribuídas por importantes tipologias e configurações de vegetação e ocupação do solo, como os carvalhais, os soutos, os lameiros, os matos, além das galerias ripícolas que margeiam rios e lameiros.

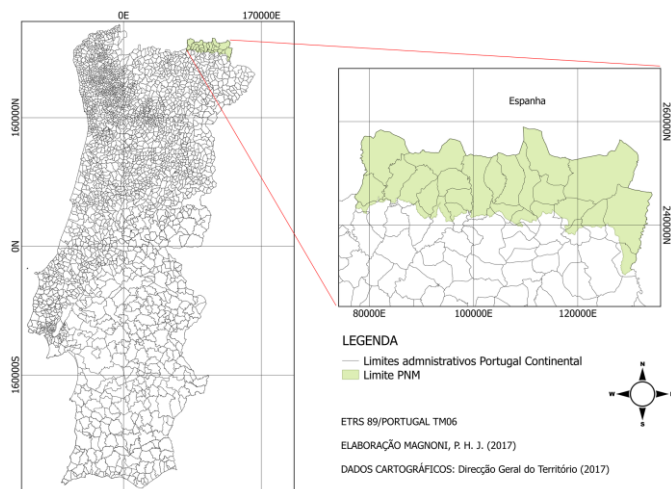


Fig. 2. Mapa de Localização do Parque Natural de Montesinho em Portugal.

### B. Ferramentas de Aplicação

Através da aplicação de métricas da paisagem específicas foi possível caracterizar os padrões e inferir os resultados inerentes a cada mapa vetorial (CLC 2012 e COS 2007), nomeadamente dos carvalhais.

Foram trabalhadas duas fontes de informação geográfica vetorial relativos à cartografia Corine Land Cover (CLC) e à cartografia Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental (COS). O CLC é do ano de 2012 e resulta de um trabalho do programa CORINE (CO-ordination of Information on the Environment) da Comunidade Europeia que desde 1985

vem desenvolvendo um sistema de informação sobre o estado do ambiente a nível europeu, produzindo mapas de ocupação do solo relativos a todos os países da União Europeia. As imagens de satélite que estiveram na base da sua elaboração foram obtidas através dos sistemas SPOT-4 e IRS P6, com escala nominal de 1/100000 e unidade mínima cartográfica (MMU - Minimum mapping Unit) de 25 ha. A nomenclatura Corine tem 44 classes de ocupação do solo agrupadas numa hierarquia de 3 níveis [3] e [8]. Já o mapa COS é do ano de 2007, produzido com base na interpretação visual de imagens aéreas ortorectificadas, adquiridas entre julho e outubro de 2007. Apresenta uma unidade mínima cartográfica de 1 ha e 193 classes de ocupação do solo ao mais detalhado dos seus cinco níveis hierárquicos [4]. A escolha dessas duas cartografias foi devida estarem nas suas mais atuais versões, e dessa forma comparar as diferenças que se podem encontrar trabalhando com estas.

Estes dois mapas vetoriais foram trabalhados pelo *software* livre QGIS 2.18.1, [5], delimitando apenas a área do PNM, e retendo apenas as classes de ocupação do solo trabalhadas – 5 classes para COS 2007 e 3 classes para CLC 2012 (Fig. 3 e Fig. 4). Após a transferência dos dois mapas para o QGIS, eles necessitaram sofrer um processo rasterização, que nada mais é que a conversão de um mapa vetorial para um mapa raster, ou seja, uma matriz numérica, necessária ao seu tratamento pelo *software* FRAGSTATS versão 4.2.1 [6] para o cálculo das métricas. Os mapas raster assim criados, tanto para COS quanto para CLC ficaram definidos entre os limites geográficos Xmin 76000 e Xmax 136000 e Ymin 228000 e Ymax 261000 no referencial UTM, com uma resolução de 2000 colunas por 1100 linhas, relativa a uma resolução de 30 metros (m) por 30 metros, e 900 metros quadrados (m<sup>2</sup>) de área por pixel. Posteriormente ao processo de rasterização da informação geográfica, os dados foram trabalhados no *software* FRAGSTATS versão 4.2.1 [6], para avaliação de 3 métricas seleccionadas de entre as inúmeras que são passíveis de avaliar com este *software*.

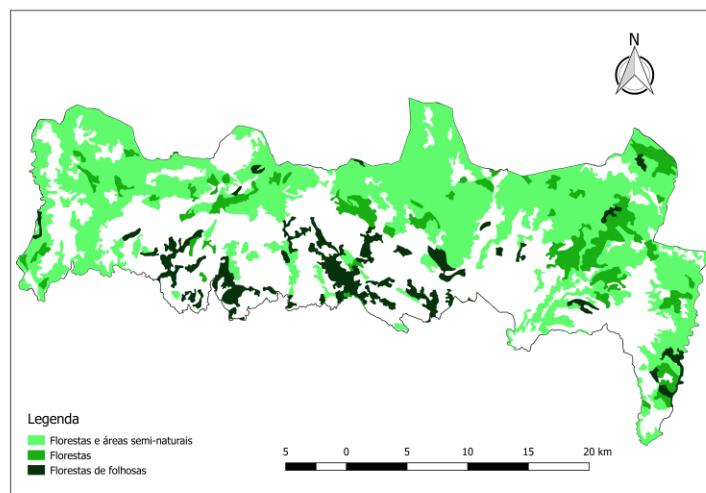


Fig. 3. Mapa Vetorial com as classes de ocupação do solo trabalhadas do Parque Natural de Montesinho segundo CLC 2012.



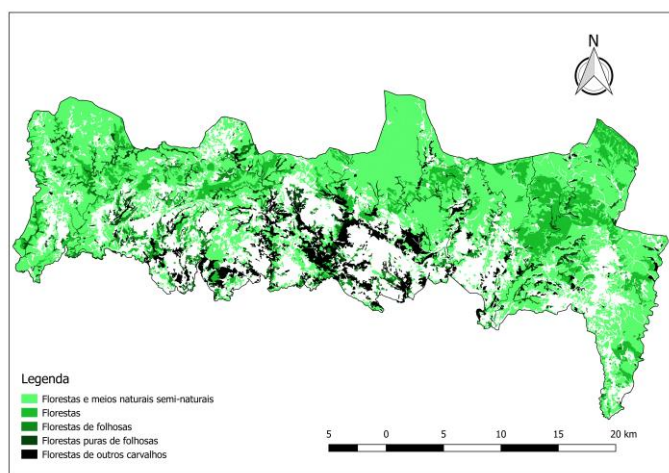


Fig. 4. Mapa Vetorial com as classes de ocupação do solo trabalhadas do Parque Natural de Montesinho segundo COS 2007.

A escolha das métricas para a análise de uma paisagem deve ser criteriosa, e segundo alguns autores [9] e [10], apenas algumas delas como densidade de orla (ED); número de manchas (NP); contágio (CONTAG), distância média do vizinho mais próximo (ENN\_MN); índice médio de proximidade (PROX\_MN) e área total da classe (CA), são fundamentais e necessárias para caracterizar uma paisagem. A escolha de métricas de análise de uma paisagem deve ter em conta os processos que se pretendem avaliar e os padrões que os traduzem. Apontam-se alguns problemas que ocorrem pelo uso incorreto das métricas, derivados de falhas conceituais na análise da estrutura da paisagem, como por exemplo, quantificar o seu padrão sem considerar os processos que lhe estão na origem, afetando os resultados finais da análise [11].

Perante as inúmeras possibilidades de métricas para a análise de cada um dos mapas (COS e CLC), as métricas foram selecionadas com base no aspecto alvo da paisagem que consideramos importante para descrever a configuração e composição dos carvalhais, a informação singular e sua disponibilidade na literatura para comparar os resultados com estudos anteriores e recentes descritos na literatura, como de [9], [10] e [12], selecionando assim apenas 3 métricas da paisagem: Área total da classe (CA), que corresponde a área de todos os fragmentos da classe em ha; Número de manchas (NP), que corresponde ao número total de fragmentos da classe que está sendo estudada; e Índice médio de proximidade (PROX\_MN), que enuncia a soma de cada área dos fragmentos de mesma classe em m<sup>2</sup>, dividida pela distância orla-a-orla mais próxima, elevada ao quadrado, considerando somente os fragmentos dentro do raio de busca. Estas 3 métricas escolhidas disponibilizam a informação básica para a análise da conectividade do carvalhal no PNM, não cometendo assim o erro de abordar um excesso de informação redundante e, eventualmente, confusa. Para a métrica (PROX\_MN) foi necessário estabelecer um parâmetro de 500 m para o raio da distância dentro do qual o FRAGSTATS vai procurar manchas da mesma classe.

As métricas da paisagem dividem-se em grupos, sendo aplicados neste trabalho o Número de manchas (NP) e Índice médio de proximidade (PROX\_MN) pertencentes ao grupo de

métricas de “agregação e fragmentação”, e a Área total da classe (CA) ao grupo de métricas de área e orla.

As métricas escolhidas foram calculadas para cada mapa contendo classes de ocupação do solo que integram os carvalhais nas respectivas classificações COS e CLC, interpretando o seu comportamento ao longo dos diversos níveis das suas hierarquias, desde os mais gerais até os mais específicos.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se no gráfico da Fig. 5 os resultados para o mapa CLC 2012 em que foram calculados os valores das 3 métricas, desde os níveis mais específicos correspondentes a composição dos carvalhais - 3.1.1 = Florestas de folhosas até os mais globais - 3 = Florestas e áreas semi-naturais e 3.1 = Florestas. A Fig. 6 apresenta os resultados para as mesmas 3 métricas da paisagem calculadas para o mapa COS 2007, seguindo o mesmo padrão embora com uma sucessão de níveis hierárquicos diferente inerente à respectiva classificação: 3 = Florestas e meios naturais e semi-naturais; 3.1 = Florestas; 3.1.1 = Florestas de folhosas; 3.1.1.01 = Florestas puras de folhosas e 3.1.1.01.3 = Florestas de outros carvalhos, correspondente aos carvalhais.

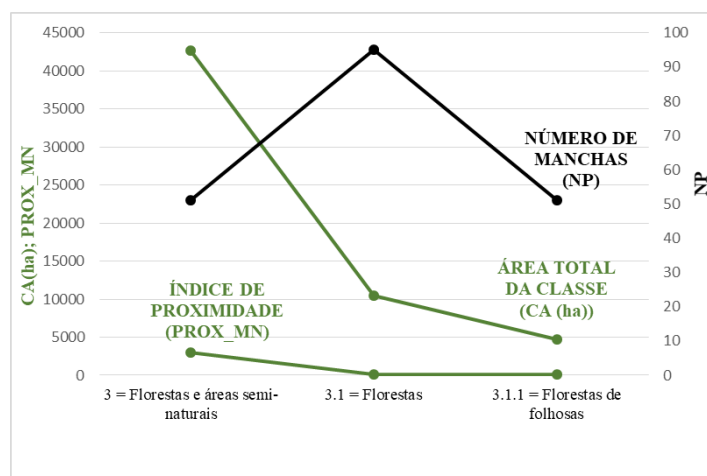


Fig. 5. Comportamento das métricas da paisagem para o Mapa CLC 2012.

Em relação ao número de manchas (NP) do nível hierárquico que designa os carvalhais, o resultado obtido para o mapa COS é quase 7 vezes maior quando comparado com o resultado obtido para o CLC. Um maior número de manchas é indicador de uma maior fragmentação da classe ou paisagem, embora tal deva ser analisado tendo em consideração o nível de detalhe do mapa base [13]. Os resultados obtidos para o Índice de Proximidade (PROX\_MN) apontam valores muito semelhantes entre as duas cartografias, considerando que o tamanho e a proximidade mínima entre manchas são calculados entre as orlas dessas manchas. Porém, comparando os dois mapas, o mapa COS 2007 apresentou um valor muito elevado para a métrica PROX\_MN no primeiro nível hierárquico (Fig. 5), isso pode ser explicado devido a problemas com a classificação do próprio mapa, dessa forma foi desconsiderado esse valor.

A subdivisão ou fragmentação de um tipo de habitat pode afetar particularmente uma espécie ou um processo ecológico e quanto maior a distância entre a mancha e as manchas da mesma classe, maior será o isolamento dessa mancha [13].

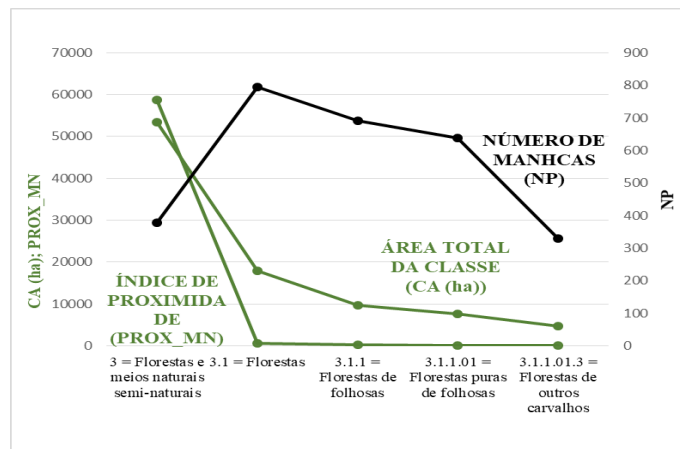


Fig. 6. Comportamento das métricas da paisagem para o Mapa COS 2007.

Em concordância com os valores obtidos para a métrica (PROX\_MN) entre os mapas, os valores de (CA) obtidos para os dois mapas (CLC e COS) foram praticamente iguais. Para esta métrica de área e orla, é afirmado que a área ocupada por determinada classe na área em estudo, pode ser calculada em m<sup>2</sup> ou em ha, e à medida que se diminui a área da classe, obtemos mais classes a ocupar menor área [13].

A diferença de resultados observada indica alguma irregularidade entre os valores das métricas para cada cartografia do solo, pois para (CA) e (PROX\_MN) obtivemos valores praticamente iguais, mas para (NP) os valores são muito diferentes. Um dos fatores principais que podem justificar essa diferença é o fato do mapa vetorial COS ser elaborado através de imagens aéreas e o mapa vetorial CLC através de imagens de satélites, além de que, são de anos diferentes.

Além dos fatores mencionados acima, outros podem explicar a diferença de resultados obtidos para as métricas de cada mapa. O cálculo das métricas não considera o relevo da superfície terrestre e os inerentes gradientes ecológicos, além de que, não julgam a composição dos diversos tipos de vegetação e sua densidade, ou ainda a existência de espécies raras [15].

Atendendo a variação de resultados encontrados nas métricas para cada mapa, é importante responder a uma pergunta. Qual o significado ecológico da aplicação de métricas da paisagem?

A paisagem sofre continuamente grande influência de processos naturais e antrópicos. Dessa forma, a paisagem pode ser caracterizada pela sua estrutura, função e dinâmica, já a estrutura da paisagem caracteriza-se pela sua composição e configuração [14]. Por exemplo, a infiltração da água no solo é afetada pela densidade da vegetação, pela geologia, solo e declive, que por sua vez afeta o crescimento da própria vegetação através da disponibilidade de água para as plantas [14].

Assim podemos afirmar que as métricas da paisagem são adequadas para caracterizar as paisagens e aportam informações importantes sobre o estado da vegetação de um determinado local, bem como outros aspectos fundamentais em uma paisagem natural.

#### IV. CONCLUSÕES

Tal como em resultados anteriores [14], onde as métricas estudadas estão altamente correlacionadas entre si e as funções ecológicas são influenciadas pela composição interna das manchas, comprova-se também neste trabalho que a avaliação da paisagem é sempre muito sensível à interpretação que é feita dos resultados obtidos. Tomando em consideração a importância dos carvalhais para a conservação da biodiversidade, tanto de espécies vegetais como animais, bem como para a estabilidade micro e mesoclimática, do solo e das águas, o presente trabalho revela que uma avaliação desses serviços ecossistêmicos por diferentes cartografias pode conduzir a resultados não coincidentes, atestando a validade de ambas as cartografias para avaliar a composição e configuração do carvalho-negral.

No entanto, pode-se afirmar que ambos os mapas não deixam de ter validade para avaliar a configuração dos carvalhais no PNM, ainda que tal exija pesquisa adicional, nomeadamente trabalho de campo para melhor confirmação e refinamento dos dados de forma a uma avaliação mais rigorosa e atual destas métricas.

#### AGRADECIMENTOS

Primeiramente um especial agradecimento ao meu orientador Professor Doutor José Castro e coorientador Professor Doutor Edivando Vitor do Couto pela imensa ajuda, sugestões e ensinamentos que tornaram possível a elaboração desse trabalho. Agradeço também ao Instituto Politécnico de Bragança – IPB pelo suporte e incentivo, e também a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Campo Mourão pela oportunidade.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Pires, J., & Moreira, N. (1995). O subsistema pecuário de bovinocultura na área do Parque Natural de Montesinho. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária.
- [2] Volotão, C. D. S. (1998). Trabalho de análise espacial: Métricas do FRAGSTATS. São José dos Campos: Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (INPE).
- [3] DGT (Diretório Geral do Território) (2017) - Cartografia e Geodesia - Corine Land Cover 2012. Disponível em: <[http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/projetos\\_em\\_curso/c lc\\_2012/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/projetos_em_curso/c lc_2012/)>. Acesso em 10 jan. 2017.
- [4] DGT (Diretório Geral do Território) (2017) - Cartografia e Geodesia - Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007). Disponível em: <[http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/cartografia/cartograf ia\\_tematica/carta\\_de\\_ocupacao\\_do\\_solo\\_cos/cos\\_2007/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/cartografia/cartograf ia_tematica/carta_de_ocupacao_do_solo_cos/cos_2007/)>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- [5] QGIS Development Team (2017). A Free and Open Source Geographic Information System. Disponível em: <<http://www.qgis.org/en/site/>>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- [6] McGarigal, K., Cushman, S.A. e Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University

- of Massachusetts, Amherst. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: 13 nov. 2016.
- [7] ICN (Instituto da Conservação da Natureza) (2007). Plano de Ordenamento do Parque Natural de Montesinho. Bragança, 17 de agosto de 2007. Disponível em: <<http://www.icnf.pt/portal/naturaclas/ordgest/poap/popnm/popnm>>. Acesso em: 12 jan. 2017.
- [8] Copernicus (Europe's eyes on Earth) (2017) – Dowload: Corine Land Cover 2012 vector. Disponível em: <<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012/view>>. Acesso em: 24 nov. 2016.
- [9] Hargis, C. D., Bissonette, J. A., & David, J. L. (1998). The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape ecology*, 13(3), 167-186.
- [10] Couto, P. (2004). Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. *Investigação Operacional*, 24(1), 109-137.
- [11] Li, H., & Wu, J. (2004). Use and misuse of landscape indices. *Landscape ecology*, 19(4), 389-399.
- [12] Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaare, J., Marja, R., & Mander, Ü. (2009). Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living reviews in landscape research*, 3(1), 1-28.
- [13] McGarical, K., Marks, B. J. (1994). FRAGSTATS versão 2.0: Spatial Pattern Analysis Program For Quantifying Landscape Structure. Forest Science Department, Oregon State University, Corvallis.
- [14] Batista, T. (2014). Modelação geográfica em processos de caracterização e avaliação da paisagem numa perspectiva transfronteiriça (Doctoral dissertation, IFA, Universidade de Évora).
- [15] Hoechstetter, S. (2009). Enhanced methods for analysing landscape structure. *Landscape metrics for characterising three-dimensional patterns and ecological gradients*. Band 6 der Reihe, Fernerkundung und angewandte Geoinformatik. Rhombos-Verlag, Berlin. 156 p.



# *Estado da Arte da Incorporação de um Sistema de Cogeração de Energia em uma Planta de Produção de Biodiesel e Hidrogênio*

Glauco Tapijara Vallicelli  
Nobrega  
Escola Superior de Tecnologia e  
Gestão de Bragança  
Instituto Politécnico de Bragança  
CEFET/RJ Campus Angra dos Reis  
Bragança, Portugal  
glaucotvn@hotmail.com

Ronney Arismel Mancebo Boloy  
Grupo de Empreendedorismo,  
Energia, Meio Ambiente e  
Tecnologia (GEEMAT)  
CEFET/RJ Campus Angra dos Reis  
Angra dos Reis, Brasil  
ronney.boloy@cefet-rj.br

Orlando Manuel Soares  
Departamento de Eletrotécnica  
Escola Superior de Tecnologia e  
Gestão  
Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal  
osoares@ipb.pt

**Abstract**— The steady increase in energy use across the globe forces society to seek alternatives to traditional sources of energy, since these are not only considered to be finite but also have a significant environmental impact. In this context, alternative forms of fuels that are renewable and ecologically sustainable are gaining notoriety. In this way, the article aims to present the raw material and products generated in a hydrogen and biodiesel production plant and, in addition, demonstrate how a cogeneration process has the potential to make this production even more sustainable and economical.

**Keywords**—Biodiesel, Hydrogen, Cogeneration

## I. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério de Minas e Energias [1], no ano de 2015 apenas 14,3% da matriz energética mundial era composta por fontes renováveis. No Brasil o índice era de 41,2% e nos países membros da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) o índice ficava em torno de 9,4%.

Em 2013, 80% da energia mundial era proveniente do petróleo, sendo que estimativas demonstram que no ano de 2030 o mundo será mais dependente de tal matéria prima do que é hoje [2].

A queima de combustíveis derivados do petróleo em máquinas térmicas e em veículos emite monóxido e dióxido de carbono na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa e o aquecimento global [3]. Outro fato que pesa contra o uso de petróleo como combustível é a sua utilização em produtos de uso diário como o plástico [4].

O setor de transportes é um dos que mais contribui para os gases de efeito de estufa, devido justamente à queima de combustíveis fósseis, sendo necessário, desta forma se pensar em alternativas para este combustível. Assim, uma das apostas mais promissoras é o biodiesel [4], [5].

O biodiesel vem-se tornando um biocombustível alternativo aos combustíveis fósseis, trazendo benefícios ambientais, incentivando a produção agrícola e melhorando a vida das pessoas no campo através da geração de empregos [4], [6], [7].

As matérias primas para a produção de biodiesel podem ser de origem animal, vegetal ou biomassa. Entre todos estes, a canola é um dos mais utilizados na produção do biodiesel, sendo o mais utilizado na União Europeia [5], [8], [9].

Na produção do biodiesel é obtido um subproduto chamado de glicerina, cuja produção toma em conta de 10% do volume de biodiesel produzido [4], [10], [11]. A glicerina, por sua vez, pode ser aproveitada com fins energéticos, sendo um deles usado para produzir hidrogênio, possibilitando, de forma, agregar um valor energético a este subproduto [10].

Para aumentar a participações de energias alternativas nas matrizes energéticas também é necessário melhorar as formas de armazenamento das mesmas. Neste critério, o hidrogênio se destaca por permitir o armazenamento de grandes quantidades de energia que não se perde ao longo do tempo, uma vez que dispensa a utilização de baterias [12].

O hidrogênio, por liberar apenas água em seu processo de combustão é apontado como um vetor energético alternativo aos combustíveis fósseis. No entanto, as dificuldades na sua obtenção e armazenamento o tornam uma alternativa pouco viável [13]. No sentido de tornar viável a sua produção, processos como fermentação de matéria-prima [13] e reforma a vapor da glicerina têm sido estudados [14], [15].

Para se otimizar a produção de uma planta de biodiesel e hidrogênio pode-se utilizar a cogeração. A cogeração é o aproveitamento de energia térmica gerada pela queima de um combustível na produção de energia elétrica. Como principais vantagens da cogeração temos menores custos de produção de energia elétrica e térmica, evita custos de distribuição e transmissão de energia elétrica, maior eficiência energética e menor emissão de poluentes [16].

## II. ÓLEO DE CANOLA

A canola é uma planta com capacidade de crescer em temperaturas relativamente baixas [17]. O óleo extraído da semente da canola recebe o nome de óleo de canola possuindo grande quantidade de Ômega 3 e pode ser considerado um dos mais saudáveis do mundo, sendo amplamente indicado por nutricionistas [18], [19].

Este óleo pode ser a principal matéria prima de uma planta de produção de biodiesel. A sua reação com o metanol e um catalisador dá origem ao biodiesel, como produto principal e a glicerina, como subproduto [4], [14].

Apesar de algumas dificuldades climáticas, em análises sobre o balanço energético, o óleo de canola se demonstra mais favorável que o óleo de girassol, mamona ou mesmo que o milho estadunidense [20].

No Brasil, num estudo realizado no Rio Grande do Sul, o óleo de canola apresentou-se menos lucrativo e eficiente que o óleo de soja, uma vez que o óleo de soja apresenta um lucro que varia entre 19 e 43% maior que o óleo de soja. Tal distância se deve principalmente à tecnologia implicada na cadeia de produção da soja, além da sua maior produtividade por m<sup>2</sup>, mas ainda assim o óleo de canola apresenta lucro privado e social [21].

## III. BIODIESEL

A necessidade crescente da utilização de energia em diversas formas, associada ao fato dos combustíveis fósseis

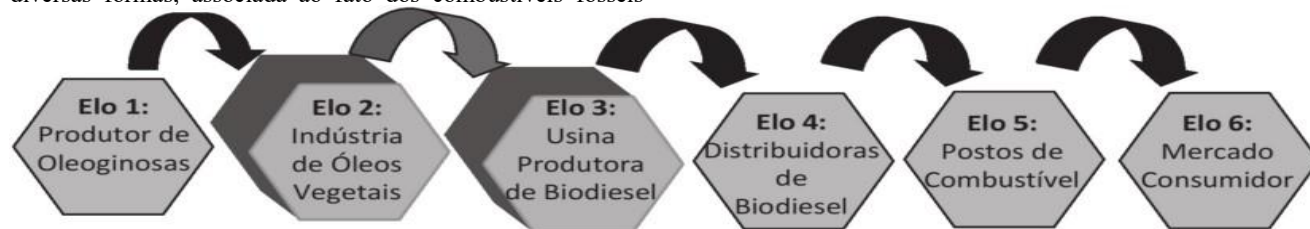


Fig. 1. Cadeia Produtiva do Biodiesel [22]

Apesar de envolver uma longa cadeia de produção, sendo um dos fortes produtos na indústria agrícola e proporcionando melhores condições de vida no campo, o biodiesel recebe críticas por ocupar áreas para produção de alimentos, além de poder contribuir para o desmatamento [6]. Este problema pode ser contornado utilizando óleo residual de frituras que, após passar por um processo de filtragem, pode ser utilizado para produzir biodiesel, apresentando características gerais semelhantes às apresentadas pelos óleos que não tiveram utilização prévia, podendo ser até mesmo mais viáveis economicamente e evitar que sejam despejado no esgoto, [26] a [29].

O biodiesel pode ser utilizado na produção de bioeletricidade [22], podendo, desta forma, uma parte de sua produção ser destinada para abastecer sua própria planta de produção. Este processo evitaria as perdas na transmissão de energia e evitaria que fosse consumida energia de uma fonte não renovável [16].

serem finitos e prejudiciais ao meio ambiente levou a sociedade ao desenvolvimento de novas tecnologias, estimuladas por políticas públicas, que resultaram no acréscimo, de forma contundente do biodiesel na matriz energética [22].

O biodiesel é conhecido como o “Diesel Natural” podendo ser o substituto do diesel em parcelas ou mesmo totalmente. O biodiesel pode ser obtido através da reação entre triglicerídeos e etanol ou metanol, na presença de um catalisador [4], [14], [22]. Devido a essa característica, o diesel comum no Brasil e em 19 países da União Europeia possui uma adição percentual de biodiesel [23].

Num estudo com diversas porcentagens de biodiesel adicionado ao diesel marítimo em motor diesel, realizado por Souza *et al* [24], demonstrou-se o benefício da adição de biodiesel: melhorou o desempenho do motor além de ser vantajoso em questões ambientais.

Oliveira [25], por sua vez, verificou os resultados do diesel S500 e o diesel S1800 com o biodiesel de soja e de murumuru num trator agrícola para lavragem do solo. Os resultados apresentados demonstraram que a utilização de biodiesel não compromete o funcionamento do motor, mas aumenta o consumo, em maior ou menor grau, dependendo da rotação.

A cadeia produtiva do biodiesel pode ser observada na Fig. 1:

## IV. GLICERINA

Segundo Mota [4], a glicerina é o produto químico comercial com pelo menos 95% de glicerol. O subproduto gerado na produção de biodiesel é a “glicerina loira” que apresenta cerca de 80% de glicerol.

Alimentos, produtos de higiene, fumo, cosméticos, medicamentos, explosivos, aditivos de combustíveis, solventes e até mesmo a indústria do papel são alguns dos exemplos dos produtos que contam com a utilização da glicerina [4].

Com aumento da produção do biodiesel, ocorreu, consequentemente um aumento na produção da glicerina, fazendo baixar consideravelmente o seu preço e levar à procura de novos produtos derivados da mesma ou ainda, novas aplicações [11], [30].

Uma das alternativas mais interessantes para glicerina produzida em uma planta de produção de biodiesel é a reforma



a vapor, gerando hidrogênio ( $H_2$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ ) como gases principais [15].

#### V. HIDROGÊNIO

O hidrogênio é um gás incolor, insípido, inodoro e apresenta grande poder de inflamação, sendo o elemento mais abundante no universo e considerado o combustível do futuro [31].

Para ser considerado um combustível limpo, o hidrogênio deve ser produzido por meios renováveis, apesar de na sua combustão resultar essencialmente água, uma vez que sua produção requer o uso de grande quantidade de energia para dissociá-lo de outros elementos [13], [32].

O hidrogênio pode ser utilizado em célula de combustível para fontes de energia elétrica ou meios de transporte e ainda no motor de combustão interna nos meios de transporte. Jatos e foguetes são consumidores recorrentes deste tipo de combustível devido a sua grande densidade energética e, também, por ser leve [33].

O gás hidrogênio pode ser utilizado sendo misturado ao combustível fóssil, reduzindo desta forma o consumo do mesmo e a emissão de gases poluentes, sem necessariamente causar danos ao motor de combustão, [32], [34], [35]. No estudo de Barbosa [35] foi instalada uma célula de hidrogênio num carro 1.0 com 16 válvulas e 77 cavalos de potência. O gás gerado a partir da eletrólise foi misturado à gasolina num motor de ciclo Otto, reduzindo desta forma o consumo em 53%.

É importante ressaltar também que o hidrogênio, apesar de ser mais energético que os demais combustíveis, apresenta uma densidade muito baixa, ou seja, o mesmo volume de hidrogênio apresenta menos energia que combustíveis comuns [38].

Deve-se atentar que a forma de armazenamento do hidrogênio é delicada, uma vez que, por ser um gás muito energético, é suscetível a explosões [32], [36].

Faro [32] determina que cerca de 30% da energia do hidrogênio é utilizada apenas para o seu armazenamento em estado líquido, enquanto De Araújo [12] coloca uma variação de 4,2 a 7,7% da energia quando armazenado entre 20 e 70MPa.

Nos últimos anos, diversas pesquisas vêm sendo feitas com o objetivo de viabilizar a utilização de hidrogênio no estado gasoso como forma de combustível para automóveis [12], [39].

A reforma a vapor do glicerol líquido pode ser capaz de gerar gases com uma concentração de hidrogênio próxima a 60% [33].

#### VI. COGERAÇÃO

Cogeração de energia é o processo de aproveitamento do calor rejeitado na queima de combustíveis, tornando o sistema mais eficiente [40]. Os combustíveis fósseis são os mais utilizados nos processos de cogeração, mas, recentemente o processo vem sendo utilizado em outros processos, como a biomassa do bagaço da cana-de-açúcar, entre outros [40], [41].

A cogeração busca economizar recursos energéticos frente a uma configuração tradicional que produza a mesma quantidade de energia mecânica ou elétrica através da eliminação do desperdício com o objetivo de reduzir o consumo de combustível e assim uma redução de custos [42].

A cogeração pode ser utilizada tanto em edifícios habitacionais, de comércio, indústrias ou área agrícola [42].

No sistema de cogeração pode-se utilizar uma turbina a gás que gera energia eletromecânica e ainda a energia térmica associada a queima do combustível [42]. Numa planta de produção de biodiesel e hidrogênio, pode-se utilizar parte da produção de biodiesel para alimentar a turbina e diminuir ou mesmo anular o consumo de energia elétrica da rede, além de se utilizar a energia térmica para auxiliar na reforma a vapor do glicerol que produz o hidrogênio.

#### VII. CONCLUSÃO

Como visto anteriormente, é cada dia mais urgente a substituição de fontes fósseis de energia, não só por sua característica finita, mas também por seu grande impacto causado ao meio ambiente devido a sua combustão. O biodiesel é um dos combustíveis com grande capacidade de substituir parcialmente os combustíveis fósseis, apresentando grande evolução ao longo dos anos.

Ainda que promissor, são necessárias melhorias na produção do biodiesel. Tornar não só o combustível em si, mas todo o seu processo de produção ecológica e economicamente viáveis é o próximo passo para tornar este tipo de energia mais atrativo. A possibilidade de tornar uma planta de produção de biodiesel e hidrogênio sustentável do ponto de vista da energia elétrica e térmica será um grande passo nesta direção.

#### REFERENCIAS

- [1] Ministério de Minas e Energia, "Resenha Energética Brasileira - Exercício de 2015," 2016.
- [2] R. Moreira, F. M. S. De Carvalho, V. S. Bergamaschi, and R. Politano, "Patentes depositadas em âmbito nacional como indicador de desenvolvimento das tecnologias de produção de hidrogênio," Quim. Nova, vol. 36, no. 5, 2013, pp. 748–751.
- [3] F. C. Drumm, A. E. Gerhardt, G. D. Fernandes, P. Chagas, M. S. Sucolotti, and P. D. D. C. Kemerich, "Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores," Reget, vol. 18, 2013, pp. 66–78.
- [4] C. J. A. Mota, C. X. A. da Silva, and V. L. C. Gonçalves, "Gliceroquímica: novos produtos e processos a partir da glicerina de produção de biodiesel," Quim. Nova, vol. 32, no. 3, 2009, pp. 639–648.
- [5] L. F. Mattei, "Programa Nacional Para Produção E Uso Do Biodiesel No Brasil (Pnpb): Trajetória, Situação Atual E Desafios," BNB. Doc. Técnicos Científicos, vol. 41, 2010, p. 10.
- [6] V. H. A. De Souza, L. T. Dos Santos, A. F. Campos, and J. Carolino, "Um Panorama Do Biodiesel No Brasil E No Mundo : Esforços Para a Ampliação Do Setor E Desafios," Revista Augustus, vol. 21, 2016, pp. 117–130.
- [7] P. C. R. Lima, "O Biodiesel e a Inclusão Social," Brasil, 2004, p. 33.
- [8] I. Lôbo, S. Ferreira, and R. Cruz, "biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos," Quim. Nova, vol. 32, no. 6, 2009, pp. 1596–1608.

- [9] M. Osaki and M. O. Batalha, "Produção de Biodiesel e Óleo Vegetal No Brasil: Realidade e Desafio," *Organizações Rurais e Agroindustriais*, vol. 13, no. 2, 2011, pp. 227–242.
- [10] R. A. M. Boloy, M. E. Silva, A. E. Valle, J. L. Silveira, and C. E. Tuna, "Thermoeconomic analysis of hydrogen incorporation in a biodiesel plant," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 113, 2017, pp. 519–528.
- [11] C. M. Quintella and M. Castro, "Glicerina Bruta (GB) oriunda da produção de biodiesel: transformando este subproduto em coproduto com alto valor agregado e baixo custo preparativo, uma oportunidade de negócio," *Bahia Análise e Dados*, vol.18, no 4, 2009, pp. 635–646.
- [12] F. H. M. De Araújo, "Análise Técnica e Econômica do Armazenamento de Hidrogênio Por Processo de Combustão" Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho," 2016.
- [13] B. C. Fonseca, "Produção de hidrogênio por fermentação por um novo isolado de *Clostridium beijerinckii*," Universidade de São Paulo, 2016.
- [14] R. A. M. Boloy, "Análise Termoeconômica e Ecológica da Incorporação do Processo de Produção de Hidrogênio em Uma Planta de Produção de Biodiesel," Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho, 2014.
- [15] R. L. Manfro, N. F. P. Ribeiro, and M. M. V. M. Souza, "Produção De Hidrogênio A Partir Da Reforma A Vapor Do Glicerol Utilizando Catalisadores De Nicu Obtidos A Partir De Precursores Tipo-Hidrotalcita," *Engvista*, vol. 15, no. 3, 2013, pp. 226–234.
- [16] EDP, "Cogeração." [Online]. Available: <https://www.edpsu.pt/pt/PRE/cogeracao/Pages/Cogeracao.aspx>. [Accessed: 16-May-2017].
- [17] EMBRAPA, "Origem e usos da Canola." [Online]. Available: [http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do149\\_2.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do149_2.htm). [Accessed: 16-May-2017].
- [18] EMBRAPA, "Definição e histórico de Canola." [Online]. Available: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/definicao.htm>. [Accessed: 16-May-2017].
- [19] G. O. Tomm, "Canola: Planta que traz muitos benefícios à saúde humana, e cresce em importância no Brasil e no Mundo," 2006, pp. 46–47.
- [20] D. L. Gazzoni, J. L. B. Borges, M. T. de Ávila, and P. H. N. Felici, "Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel Canola energy balance for biodiesel production," *Espaço Energ.*, vol. 1, no. 11, 2009, pp. 25–28.
- [21] C. E. A. de Castro, "Produção De Biodiesel Pelas Cadeias Produtivas De Soja, Canola E Girassol No Rio Grande Do Sul," Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
- [22] V. L. Costa, J. L. Kovaleski, P. P. de A. Junior, D. L. Costa, and E. L. Morschel, "A introdução do Biodiesel na matriz energética brasileira: contextualização histórica, cadeia produtiva e processo produtivo," *Revista ADMpg*, vol. 5, no.1, 2012, pp. 43-51.
- [23] F. M. Fernandes, M. S. Silva, A. M. F. Lima, A. M. Rocha, P. M. Soares, F. Konishi, "Biodiesel no Mundo e no Brasil: Situação Atual e Cenários Futuros," In: *X AGRENER GD 2015*, 2015, São Paulo. Anais do X AGRENER GD 2015, 2015.
- [24] L. S. A. Souza, L. L. N. Guarieiro, A. A. B. SANTOS, "Avaliação Experimental do Desempenho de Motores do Ciclo Diesel Utilizando Misturas Biodiesel/Diesel Marítimo," *Revista Virtual de Química*, vol. 8, no. 4, 2016, pp. 1192-1203.
- [25] M. C. De OLIVEIRA, "Diesel e biodiesel de murumuru e de soja: desempenho operacional de trator agrícola no preparo do solo," Universidade Estadual Paulista- Campos de Jaborat. 2016
- [26] F. H. Dib, "Biodiesel E Proporções De Mistura Em Um Moto-Gerador," Universidade Paulista júlio de Mesquita Filho, 2010, p. 118.
- [27] P. Christoff, "Produção De Biodiesel a Partir Do Óleo Residual De Fritura," Instituto de Tecnologia do Paraná, 2006, p. 83.
- [28] C. A. de Souza, "Sistemas Catalíticos Na Produção De Biodiesel Por Meio De Óleo Residual," UNIFEI, 2006, p. 11.
- [29] R. K. M. Fernandes, J. M. B. Pinto, O. M. de Medeiros, and C. de A. Pereira, "Biodiesel a Partir De Óleo Residual De Fritura : Alternativa Energética E Desenvolvimento Sócio-Ambiental," *XXVIII Encontro Nac. Eng. Produção*, 2008, p.10.
- [30] D. B. Mendes and J. C. V. Serra, "Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento," *Rev. Lib.*, vol. 13, no. 20, 2012, pp. 1–9.
- [31] "Hidrogênio." [Online]. Available: [http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ\\_tabela/001\\_hidrogenio.html](http://www2.fc.unesp.br/lvq/LVQ_tabela/001_hidrogenio.html). [Accessed: 16-May-2017].
- [32] T. M. da C. Faro, "Nanoestruturas de Carbono para o Armazenamento de Hidrogênio: Estudos Computacionais," Unicamp, 2015, p.177.
- [33] I. A. da Silva, "Hidrogênio: Combustível do Futuro," *Ensaio e Ciência C. Biológicas, Agrárias e da Saúde*, vol. 20, no. 2, 2016, pp. 122–126.
- [34] J. M. Júnior, M. E. Pereira, M. B. Ribeiro, F. F. Lara, D. C. Barbosa, A. S. Almeida, R. D. Ximenes, P. Ricardo, and D. F. L. V Zeneratto, "O uso do hidrogênio como combustível para motores de combustão interna com o auxílio de uma célula de oxi- hidrogênio," *Anais do I Simpósio Interdisciplinar de Tecnologias na Educação [SInTE] – IFSP Câmpus Boituva*, 2015, pp. 263–266.
- [35] C. H. Barbosa, "Redução de consumo de combustível convencional pela adição de gás hidrogênio," *Caleidoscópio*, vol. 1, no, 8, 2016, p. 12.
- [36] J. A. R. Da Silva Filho, M. O. R. T. Da Silva, Y. C. Rodrigues, L. H. F. B. Junior, and G. S. Da Silva, "Automóveis movidos a base de água, através da célula produtora de combustível hidrogênio," *Ciências exatas e tecnológicas*, vol. 3, 2016, pp. 65–72.
- [37] G. S. Prass, "Análise Termodinâmica Da Injeção De Hidrogênio Em Motores De Combustão Interna Operando Com Etanol," Universidade Federal de Santa Catarina, 2014, p. 54.
- [38] R. S. Pérez, "Produção de hidrogênio a partir da reforma em fase líquida do glicerol:Avaliação econômica e logística," *Tese – Univ. Fed. do Rio Janeiro. Programa Pós-Graduação Pós-graduação em Tecnol. Process. Químicos e Bioquímicos*, 2014, p. 166.
- [39] A. O. Menezes, M. T. Rodrigues, A. Zimmaro, L. E. P. Borges, and M. A. Fraga, "Production of renewable hydrogen from aqueous-phase reforming of glycerol over Pt catalysts supported on different oxides," *Renew. Energy*, vol. 36, no. 2, 2011, pp. 595–599.
- [40] S. O. de O. Moraes, "Cogeração no Setor Sucroalcooleiro a Partir do Reaproveitamento Energético da Biomassa do Bagaço de Cana," Universidade Federal da Paraíba, 2015, p.42.
- [41] R. F. L. Delgado, "Estudo e Implementação de Um Sistema de Cogeração," Universidade do Porto, 2016, p. 223.
- [42] G. D. J. A. Barja, "A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico," Universidade de Brasília, 2006, p. 171.

# *Gaseificador de blocos de madeira em leito fluidizado: uma revisão*

Camila Fonseca Chaves

Escola Superior de Tecnologia e Gestão - ESTiG  
Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal.  
Grupo de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e  
Tecnologia (GEEMAT), CEFET/RJ Campus A. dos Reis  
Angra dos Reis, Brasil / cams.fonseca@gmail.com

1- Ronney Arismel Mancebo Boloy /Grupo de  
Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e  
Tecnologia (GEEMAT), CEFET/RJ Campus  
Angra dos Reis

Angra dos Reis, Brasil/ ronney.boloy@cefet-rj.br

2- Luis Frólén Ribeiro

Escola Superior de Tecnologia e Gestão – ESTiG  
Instituto Politécnico de Bragança, Bragança,  
Portugal.  
frolen@ipb.pt

**Resumo** — O estudo inicia-se a partir do aproveitamento da biomassa em um gaseificador no qual é gerado cinzas e um gás de síntese. Existem três tipos mais comuns de gaseificadores, sendo estes o gaseificador de leito fluidizado, gaseificador de leito fixo e gaseificador de fluxo de arraste. As quatro etapas do processo de gaseificação são descritas como secagem, pirólise, combustão e redução. O gás de síntese gerado a partir do gaseificador passa por um ciclone, ou mais comumente chamado de catalisador, onde são retirados os materiais particulados e suas impurezas, sendo o alcatrão o resíduo que pode ser denominado um grande desafio para a purificação. Posteriormente, o gás de síntese alimentará um sistema chamado de acionadores primários, sendo eles os motores de combustão interna (Otto ou Diesel), motor de combustão externa (Stirling) microturbinas e células combustíveis.

**Palavras chaves** — biomassa; gaseificador; gás de síntese, purificação, motor de combustão interna.

## I. INTRODUÇÃO

A produção de energia através da gaseificação da biomassa já existe há mais de 100 anos, embora aparenta ser uma tecnologia recente. Essa tecnologia foi colocada em segundo plano por um longo período de tempo devido ao baixo preço dos combustíveis fósseis. Contudo após as crises políticas de 1970 a 1980, houve um despertar para o estudo e vem sendo visto como uma das opções vantajosas para substituição dos combustíveis fósseis pela baixa emissão de poluentes. [1]

A biomassa como fonte renovável de energia possui como grande vantagem a redução das emissões de CO<sub>2</sub>, uma vez que o CO<sub>2</sub> emitido na utilização energética da biomassa tenha sido aproveitado no processo de crescimento do material vegetal, sendo CO<sub>2</sub> neutro. Existem também desvantagens como a baixa densidade e seu grande conteúdo de umidade que influenciam no seu aproveitamento energético por meio dos custos relacionados a sua transformação para gás de síntese. [2].

Os estudos demonstram que a utilização de biomassa para fins energéticos vem obtendo números significativos de

crescimento no mundo, atualmente as energias renováveis apresentam um pouco mais de 12% da matriz mundial, sendo que a biomassa total contribui com 9,73%. Principalmente nos países em desenvolvimento, a produção de biomassa vem ganhando investimentos para um número considerável de novas tecnologias para o processamento, produção de biocombustíveis, conversão de biomassa em calor e energia como também diminuição dos custos. As principais regiões produtoras de biomassa são: Ásia e Austrália, América Latina e Caribe, pois estas regiões apresentam um maior potencial para aumentar o uso dessa fonte renovável. As regiões como Europa e Oriente Médio tem a menor disponibilidade de biomassa [3].

A tecnologia de gaseificação de biomassa pode ser integrada à sistemas de cogeração de energia, isto permite o aproveitamento do syngas na disponibilização de energia, seja térmica e/ou elétrica [4].

A saber, existem três categorias principais de conversão de biomassa: a conversão termoquímica, biológica e física. Sendo a conversão termoquímica o processo onde a matéria-prima de biomassa é convertida em combustível (syngas) com um poder calorífico baixo, médio ou alto, dependendo do agente gaseificante. O processo de gaseificação pode ser utilizado para produzir gás de síntese para combustão em caldeiras, turbinas e motores de combustão interna. Deve-se mencionar também que na aplicação do syngas é necessária à sua limpeza por meio de catalizadores para a eliminação de compostos não desejados [5].

O presente trabalho tem como objetivo uma análise da literatura científica sobre as tecnologias e desafios da gaseificação de blocos de madeira para geração de energia.

## II. GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA

### A. Gaseificação como uma tecnologia

Sobre a conversão de biomassa em formas úteis de energia, é possível citar como método a combustão direta como também a conversão em combustíveis líquidos ou gasosos para aplicações práticas de algumas tecnologias, sendo essas tecnologias a combustão, gaseificação, pirólise, liquefação hidrotérmica e fermentação [6]. Muitas dessas tecnologias

foram desenvolvidas com sucesso, porém poucas são comercializadas ou estão em desenvolvimento. [7].

Deve-se ressaltar que a gaseificação disponibiliza uma ampla seleção de matéria-prima (por exemplo, resíduos agrícolas e florestais, subprodutos da indústria de alimentos e bio-refinarias, resíduos orgânicos municipais) e dessa forma, para a geração de calor e eletricidade, o syngas pode ser usado como combustível. A gaseificação, quando comparada a combustão direta, possui vantagens como a capacidade de usar o gás de síntese para outros produtos além da eletricidade, e possui um aumento da eficiência na geração de energia (pode-se dizer 60% de aumento) [8].

A gaseificação é uma tecnologia responsável pela conversão térmica da biomassa numa mistura gasosa de gás de síntese na presença de um agente oxidante, como exemplo o ar, oxigênio ou vapor, em condições abaixo da estequiometria. Esse processo nos fornece como principais compostos [9]:

- Hidrogênio ( $H_2$ );
- Monóxido de Carbono (CO);
- Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) com metano ( $CH_4$ );
- Água ( $H_2O$ );
- Hidrocarbonetos superiores (HC) em pequenas quantidades.

A utilização do syngas garante a geração de eletricidade usando motores de combustão interna (CI) e turbinas a gás, como também a produção de produtos químicos e combustíveis líquidos.

#### B. Gaseificadores de biomassa

Os gaseificadores são os mecanismos para o processo de gaseificação da biomassa, onde a tecnologia do reator é definida pelo mecanismo de purificação do gás produzido. Essa purificação pode ser realizada em gaseificadores que trabalham em baixas temperaturas (800 a 1000 °C) como também os gaseificadores que realizam a purificação a temperaturas elevadas (1200 a 1400 °C), contendo principalmente CO,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $H_2$ . Tem-se a baixas temperaturas um gás com uma mistura de compostos, sendo esses compostos o  $CO_2$ , CO,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CH_4$ , olefinas, benzeno, alcatrão e impurezas inorgânicas. Logo, quando se tem um gaseificador a baixas temperaturas, faz-se necessário a utilização de um processo mais rigoroso quanto a purificação do gás para que este, atendendo as normas ambientais, seja utilizado em indústrias. Essa purificação é desenvolvida de acordo com a aplicação final deste gás combustível. [10]

#### C. Tipos de gaseificadores

Existem variados tipos de gaseificadores, sendo os principais o gaseificador de leito fluidizado, leito fixo e fluxo de arraste [11].

- Leito Fluidizado que dependendo de seu regime, pode apresentar dois tipos: leito fluidizado borbulhante, onde o gás obtido possui menor quantidade de alcatrão devido ao seu maior tempo de residência, mas com

elevado conteúdo de metano, e o leito fluidizado circulante, onde é aceito uma grande variedade de matérias-primas e cargas mais reativas são preferidas devido a esse processo ser realizado a baixas temperaturas.

- Leito Fixo que pode ser classificado de acordo com o fluxo de biomassa e agente oxidante, em que o tipo concorrente a biomassa e o agente oxidante entram pelo topo do reator, e no tipo contracorrente, a biomassa entra pelo topo e o agente oxidante pelo fundo. O gaseificador de leito fixo, tanto do tipo concorrente como contracorrente, necessita de uma matéria-prima com granulometria uniforme, com teor de umidade menor que 20% e 60% m/m e baixo conteúdo de cinzas, menor que 6 a 25% m/m.
- Fluxo de Arraste, sendo o mais comum operando a altas temperaturas (em média de 1450 °C) e a uma pressão de 20 a 50 bar, sendo superior à temperatura de fusão das cinzas da biomassa, causando assim o “slagging”, onde o sedimento formado pela fusão das cinzas da biomassa desce pela parede do reator tendo como utilidade a proteção do refratário. Com essas características, o gaseificador de fluxo de arraste produz um gás praticamente isento de impureza orgânica, produzindo principalmente  $H_2$ , CO e  $CO_2$ .

É importante citar que somente os gaseificadores do tipo fluidizado circulante, com capacidade mínima de 20MW, e fluxo de arraste, com capacidade mínima de 100MW, são adequados para grandes capacidades. Porém, estes gaseificadores possuem dificuldades em sua tecnologia, sendo elas resumidas como [12]:

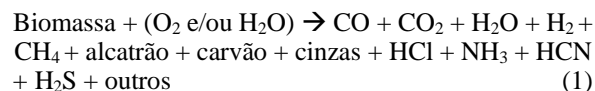
- Leito fluidizado circulante necessita de um desenvolvimento de processo de limpeza e condicionamento do gás com o foco na remoção de contaminantes, como por exemplo  $H_2S$ ,  $NH_3$ , metais alcalinos e alcatrão, permitindo, assim, o atendimento aos critérios dos processos mais exigentes, como por exemplo a síntese de Fischer-Tropsch, maximizando a eficiência energética da planta;
- Fluxo de arraste é carente de um desenvolvimento do método de alimentação e otimização do coprocessamento de biomassa com outras matérias-primas, como por exemplo, carvão e/ou coque de petróleo.

#### D. Etapas da gaseificação

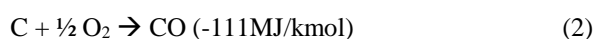
O gás é submetido no interior do reator a 4 etapas, são elas a secagem da biomassa, pirólise, combustão e redução [13]

- Secagem (até 150°C): processo endotérmico, onde ocorre sob forma de vapor a evaporação da umidade da matéria-prima/biomassa.
- Pirólise ( $T < 700^\circ C$ ): processo endotérmico que produz  $H_2$ , CO,  $CO_2$ ,  $H_2O$  e  $CH_4$ , alcatrão e um resíduo

sólido de carbono (char). A etapa de pirólise fica situada acima das etapas de combustão (leito fixo do tipo concorrente) e redução (contracorrente) e à temperaturas em torno de 200°C as reações se iniciam, quando se começa a decomposição da estrutura da biomassa por ação térmica. O processo de gaseificação é globalmente endotérmico, podendo ser descrito pela equação 1:

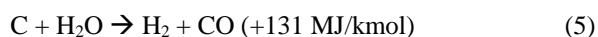


- Combustão (700<T<2000°C): processo exotérmico, onde acontece a reação do carbono da matéria-prima com o oxigênio. Para as reações endotérmicas é necessário um calor, sendo este fornecido pela combustão da parte do combustível, carvão ou gases. As reações seguem representadas pelas equações (2) a (4).



- Redução (800<T<1100°C): reação endotérmica para obtenção de gases combustíveis. Em um gaseificador de leito fixo, os gases quentes da fase de combustão passam à zona de redução, tendo as reações para a zona de redução representadas nas equações (5) a (9).

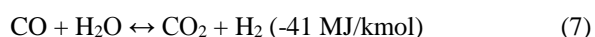
Oxidação parcial do carbono pelo vapor d'água:



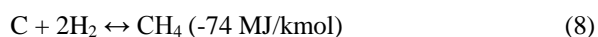
Reação de Boudouard:



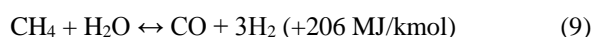
Reação de shift:



Reação de formação de metano:



Reação de reforma a vapor de metano:



### III. BIOMASSA

Neste estudo, será analisado a madeira de eucalipto como biomassa, onde esta foi utilizada no processo de gaseificação de um teste cortada em pedaços cilíndricos, com diâmetro de 80 mm e altura de 90 mm aproximadamente, umidade média

de 16,42% de um total de cinco pedaços retirados aleatoriamente da pilha e medida com um Higrômetro Digisystem DL 2000. As características da madeira pela verificação imediata, antes de passar pela etapa da combustão e a verificação elementar, após a etapa da combustão estão descritas na Tabela 1:

TABELA I CARACTERÍSTICAS DA LENHA DO EUCALÍPTO UTILIZADO

Syngas		
Poder calorífico	PCI	16,14 MJ/Kg
	PCS	18,96 MJ/Kg
Análise Imediata	Voláteis	77,5 %
	Carbono Fixo	16,7 %
	Cinzas	0,41 %
Análise Elementar	Hidrogênio	6,4 %
	Oxigênio	41,8 %
	Nitrogênio	0,4 %
	Enxofre	** N.I.

Através da medição da quantidade de massa gerada de resíduo é feita a análise, após o término do processo do gaseificador, onde foram coletadas as cinzas e o material particulado do ciclone [14].

### IV. ALCATRÃO

#### A. Caracterização do alcatrão

São identificadas diversas formas para a remoção do alcatrão do gás de síntese, porém tem-se que duas são as mais utilizadas. Uma delas é através do método primário que se baseia na escolha do método de gaseificação, ou seja, tipo de reator e condições operacionais. O método secundário pode ser exemplificado por ciclones, adsorventes, filtros, leitos de adsorção, torres de lavagem, precipitador eletrostático e remoção catalítica. [15] Uma vez que o método primário é baseado na otimização das condições experimentais da gaseificação, será abordado apenas o método secundário.

De acordo com a literatura científica, é possível descrever os dados de eficiência de remoção de alcatrão usando diversos sistemas [16]:

- Precipitadores eletrostáticos (RSP) 30-70% e filtros de manga 0-50%;
- Filtro cerâmico 77-97%;
- Filtro catalítico: de acordo com os dados coletados, à temperaturas superiores a 800°C foi detectado uma alta eficiência, porém é necessário afirmar que, por essa tecnologia ainda estar em desenvolvimento, encontra-se com um elevado custo operacional. [17]

Embora a literatura científica muitas vezes traz referências dos processos de craqueamento catalítico para a remoção do alcatrão, as condições de processo de gaseificação privilegiam

o uso de catalisadores ativos na reação de reforma a vapor, uma vez que a corrente tem elevada quantidade de vapor d'água.

Alguns autores empregaram um processo de gaseificação gerado num sistema de processamento químico de pequena escala (planta piloto) empregando catalisadores comerciais, com a remoção do alcatrão superior a 97%. Porém a vida útil dos catalisadores encontrou-se afetada pelo fato do alto teor de alcatrão na entrada do reformador, pela natureza química do alcatrão, como também o envenenamento por enxofre e metais alcalinos, além do fato de formação de coque. [18], [19], [20], [21], [22].

## B. Catalisadores empregados na remoção do alcatrão

- Zeólitas: infelizmente apresentam muitas desvantagens, como a rápida desativação e baixa eficácia catalítica quando comparadas a dolomita, além do fato de possuírem um custo elevado quando sintéticos [23].
- Os catalizadores mineirais como olivina, dolomita, calcita e magnesita, pois estes apresentam como vantagem o baixo custo. Sua eficiência na remoção do alcatrão mostra-se acima de 95% quando calcinado em temperaturas a 800 e 900°C. Infelizmente apresentam pouca resistência mecânica [24].
- Metálicos (ex.: Ni, Rh, CO, Fe) suportados (ex.: ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>, MgO, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e mistura destes) e catalisadores bimetálicos (ex.: Ru-Ni, Pd-Ni, Ni-Pt). Dentre os catalizadores citados, destaca-se a eficiência obtida com os catalizadores metálicos de Ni suportados em hexa-aluminatos e catalisadores de Rh. Foram empregados estudos no catalizador que contém Rh usando uma composição sintética de gaseificação contendo 3,1 %CH<sub>4</sub>, 5,0 %CO, 5,1 %CO<sub>2</sub>, 1,3 %C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, 7,9 %H<sub>2</sub>, 22,1 %He, 55,5 %H<sub>2</sub>O e 77,3 ppm de H<sub>2</sub>S. Os autores inicialmente empregaram elevada velocidade espacial (159000 h<sup>-1</sup>), na temperatura de 900 °C, usando a reforma a vapor do etileno, evidenciando através de testes conduzidos por 200h que a desativação pela contaminação foi menor para os catalizadores contendo Rh. Com o mesmo teste, os catalizadores contendo Ni tiveram que ser reativados com vapor após 100h de reação, tornando-se menos eficiente [25].

Visto que os catalizadores metálicos que contém Rh e Ni são os mais eficientes, pois comprovaram sua eficácia em longas durações, como já citado, em relação a desativação por H<sub>2</sub>S e por depósito de coque, uma vez a aprovação destes dois critérios são considerados fundamentais para a purificação do gás de síntese proveniente da gaseificação de biomassa.

## V. ACIONADORES PRIMÁRIOS

O gás de síntese pode atender a diversas finalidades por meio dos Acionadores Primários. As diferentes tecnologias que estão englobadas no mecanismo de geração de eletricidade em pequena escala são um motor de combustão interna (Otto ou Diesel), combustão externa (motor Stirling), microtubinas e células combustíveis [26].

## A. Motor de combustão interna (Otto ou Diesel)

Motor de combustão interna: A tecnologia dos motores alternativos de combustão interna tem-se expandido em escala comercial em função de seu baixo custo de instalação, fácil manutenção e por possibilitarem seu uso através do gás proveniente de gaseificação de biomassa. Infelizmente, essa tecnologia ainda apresenta dificuldades na remoção de particulados e alcatrão do gás de síntese para ser utilizado nos motores [27].

Por possuir a maior taxa interna de retorno, menor custo de geração de energia e menor custo de investimento específico, analisa-se uma vantagem econômica na tecnologia de motor alternativo de combustão interna quando comparado com os demais acionadores primários [28].

## VI. CONCLUSÃO

Através da literatura científica foi possível analisar que o gás produzido na gaseificação de biomassa de madeira, mais especificamente, de pinheiro, tem uma ampla utilização. Contudo a sua utilização encontra barreiras na fase de purificação, principalmente na remoção do alcatrão. Visto que isso pode ser solucionado por meio dos catalisadores que tenham uma alta eficiência para a remoção dos hidrocarbonetos, resistência a coqueamento e envenenamento por enxofre. Pode-se observar que dentre os diversos catalizadores, os de Ni suportados em hexa-aluminatos e catalisadores Rh obtiveram uma melhor e mais alta resposta positiva nos testes feitos por pesquisadores, sendo resistentes a 200h na presença de H<sub>2</sub>S.

Sobre os aplicadores primários, analisa-se uma caracterização do motor de combustão interna (Otto e Diesel) como um sistema que possui geração de energia e custo de investimento específico menor quando comparado a outros, por exemplo motor Stirling, viabilizando, assim, a sua utilização.

## REFERÊNCIAS

- [1] Lacerda, A.G.A.; Maruyama, F.M. Geração de Energia Elétrica à partir de células de combustível. Relatório Final do Projeto de Formatura 2000, PEA. EPUSP, São Paulo 2000
- [2] Zurich, E. Electricity from wood through the combination of gasification and solid oxide fuel cells Systems analysis and Proof-of-concept. Stuttgart: Universität Stuttgart/Federal Republic of Germany, 2008.
- [3] Cortez; Lora; Gomez (2008).
- [4] Botão, S. G., Lacava, P. M. Uso do bagaço da cana-de-açúcar para co-geração de energia elétrica no Estado de São Paulo e a comercialização do excedente da energia gerada. Revista de Biociências, Taubaté, v. 9, p. 17-37, jul-set. 2003.
- [5] IEA Bioenergy Task 40, 2017
- [6] Srirangan, K.; Akawi, L.; Moo-Young, M.; Chou, C.P. Towards sustainable production of clean energy carriers from biomass resources. Appl. Energy 2012, 100, 172–186.
- [7] Devi, L.; Ptasiński, K.J.; Janssen, F.J. A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes. Biomass Bioenergy 2003, 24, 125–140.
- [8] Anis, S.; Zainal, Z.A. Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review. Renew. Sustain. Energy Rev. 2011, 15, 2355–2377
- [9] Ahmad, A.A.; Zawawi, N.A.; Kasim, F.H.; Inayat, A.; Khasri, A. Assessing the gasification performance of biomass: A review on



- biomass gasification process conditions, optimization and economic evaluation. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 53, 1333–1347.
- [10] Knoef, H. A. M.; *Handbook of biomass gasification*, Biomass Technology Group: Enschede, 2005.
- [11] Higman, C.; Burgt, M. V. D.; *Gasification*, Elsevier: Burlington, 2003.
- [12] Knoef, H. A. M.; *Handbook of biomass gasification*, Biomass Technology Group: Enschede, 2005.
- [13] Boerrigter, H.; Calis, H. P.; Slort, D. J.; Bodestaff, H.; Kaandorp, A. J.; Den Uil, H.; Rabou, L. P. L. M., *Relatório do Energy Center of Netherlands*, ECN-C-04-056, 2004.
- [14] Figueiredo, F.L.; Fernandes, F.; *Produção de energia elétrica através da biomassa em sistema de gaseificação concorrente e grupo gerador com capacidade de 50 kVA*, Ciências Exatas e Tecnológicas, 2012, 166-174.
- [15] Han, J., Kim, H.; *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2008, 12, 397.
- [16] Anis, S.; Zainal, Z. A.; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011, 5, 2355.
- [17] Dirk, J. D.; Zhao, H.; Baron, G.V.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 2001, 40, 3309.
- [18] Aznar, M. P.; Caballero, M. A.; Gil, J.; Martín, J. A.; Corella, J.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 1998, 37, 2668.
- [19] Caballero, M. A.; Aznar, M. P.; G. Javier; Martín, J. A.; Francés E.; Corella, J.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 1997, 36, 5227.
- [20] Narváez, I.; Corella, J.; Orío, A.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 1997, 36, 317.
- [21] Orío, A.; Corella, J.; Narváez, I.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 1997, 36, 3800.
- [22] Delgado, J.; Aznar, M. P.; Corella, J.; *Ind. Eng. Chem. Res.* 1996, 35, 3637.
- [23] Fredriksson, H. O. A.; Lancee, R. J.; Thune, P. C.; Veringa, H. J.; Niemantsverdriet, J. W.; *Appl. Catal.*, B2013, 130, 168.
- [24] Constantinou, D. A.; Efstathiou, A. M.; *Catal. Today* 2009, 143, 17.
- [25] Steele, A.M.; Poluston, S.; Magrini-Bair, K.; Jablonski, W.; *Catal. Today* 2013, 214, 74.
- [26] Vianna Junior, A.L., Vieira, L. S. R., Soares, G. F. W., Nascimento, M. V. G.; (2001), *Estudo Comparativo de Microssistemas de Geração Baseados em Combustíveis*. CEPEL.
- [27] Nogueira, L. A. H.; Lora, *Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações*. 2ª edição, 2003
- [28] Hasler, P.; Nussbaumer, Th. *Gas cleaning for IC engine application from fixed bed biomass gasification*, *Biomass and Bioenergy*, vol 16, pp. 385-395, 1999.



# *Social entrepreneurship, psychological coaching as a developer of competences*

Sofia Martins, Ana Galvão and Marco Pinheiro

Instituto Politécnico de Bragança

Bragança, Portugal

mpinheiro@ipb.pt

**Abstract—** The objective of the study was to identify psychological and personality traits linked to social entrepreneurship in a sample of higher education students, and to highlight the usefulness of psychological coaching as a catalyst tool for the entrepreneurial psychological characteristics evidenced by students, in order to promote social entrepreneurship.

The existence of social initiatives that aim to promote entrepreneurship is considered of high importance for society, in order to create value. Some authors conclude that social entrepreneurship arose due to the inability of governmental entities to respond to social problems, whether due to budgetary or even political issues.

Social entrepreneurship arises in turbulent contexts of crisis and economic, social and environmental challenges. Despite being considered a new typology of entrepreneurship, social entrepreneurs have been present in society for a long time and can be signaled throughout history, and are motivated by promoting the welfare of society, thus having a social mission.

The Portuguese Entrepreneurial Psychological Traits Inventory and the Big Five Inventory-44 were used as data collection materials on a sample of 224 higher education students.

Our study identified that the students of the sample showed reasonably high scores in both entrepreneurial traits as well as in personality traits.

We concluded that, notwithstanding the high scores, only 6 students answered that they were thinking of developing an entrepreneurial project, making the implementation of a psychological coaching program, aiming at enhancing students' skills and understanding of an entrepreneurial career, pertinent given the present economical situation in Portugal.

**Keywords—** *entrepreneurship; social entrepreneurship; psychological coaching; personality traits.*

## I. INTRODUCTION

Economists argue that for economic development there must be leaders and entrepreneurs. Thus, entrepreneurship is seen as a promoter of economic development.

"The role of entrepreneurship in economic development involves more than just increasing production and income per capita. It involves initiating and constructing changes in the structure of business and society " [1].

They tell us the evidence that "A good entrepreneur, by adding value to products and services, is constantly concerned with resource management and with the concepts of efficiency and effectiveness. Drucker [2] does not see entrepreneurs as agents of change, but as agents who exploit the opportunities that change creates (in technology, in consumer preference, in social norms, etc.). This defines entrepreneurship: the entrepreneur seeks change, and responds and exploits change as an opportunity. Since Entrepreneurship is a specific domain, there is no absolute paradigm or a scientific consensus.

Among the main theories that approach the entrepreneurship, the economic theory and the behaviorist theory stand out. Richard Cantillon, Jean Baptiste Say and Joseph Schumpeter are evidenced in what concerns the economic theory. In the behavioral theory we highlight professionals in the field of social psychology, work and organizations, who seek to optimize and catalyze the motivation and characteristics of organizational behavior. Among these we highlight Max Weber and David C. McClelland.

Pessoa [3] identifies three main types of entrepreneurs: the entrepreneur (intra-entrepreneur or internal entrepreneur), the start-up entrepreneur (creating new businesses / companies) and the social entrepreneur (entrepreneurs with asocial mission), and which are people who stand out wherever they work.

Social entrepreneurship was initially a derivation of entrepreneurship and was strongly influenced by the actions of private companies in the social and public spheres. However, they assumed their own strategies in a context of growth in the third sector and the need and demand for great impact and effective changes.

The process of social entrepreneurship mainly requires the involvement of the community, government and private sector, based on a model of partnerships. The final result is the promotion of social, cultural, economic and environmental quality of life, with the underlying perspective of sustainability.

At present, social entrepreneurship presents itself as a developing concept, but with its own characteristics, principles and values, signaling the differences between traditional social management and entrepreneurial management. In this sense, social entrepreneurship emerges as a strategy to solve problems of poverty and social exclusion.

This type of entrepreneurship has all the characteristics of traditional entrepreneurship, that is, it seeks profits, but also helps to solve social problems through its activity. Having as general objectives, the fight against poverty, reduction of inequality and debates to improve the relation with the environment.

The actions of the social entrepreneur begin after the diagnosis of certain local social problems that need the implementation of coping alternatives. These alternatives usually present fundamental characteristics such as: innovation, possibility of achievement, self-management and sustainability, involvement of different segments of society and the population that will receive the action.

This type of entrepreneurship refers us to the concept of Social Responsibility. This is an activity favorable to sustainable development, quality of life at work and society, respect for minorities and the most disadvantaged and vulnerable, equal opportunities, common justice and the promotion of citizenship, and respect for ethical and moral values.

Social responsibility is characterized by producing goods and services that will benefit the community, focusing on the market and the community service according to its mission. The measure of performance used is the return to stakeholders and stakeholders. Social entrepreneurship, on the other hand, produces goods and services aimed at benefiting the local and global community and focuses on finding solutions to the social problems and needs that the community faces. The measure of performance used is the impact and social transformation generated through its action. Social entrepreneurship aims to rescue people from the situation of social risk and promote them, generating social capital, inclusion and social emancipation.

We emphasize as the main interest for this research, the most detailed understanding about the profile of the social entrepreneur, protagonist of the entrepreneurial attitudes, because, as Dolabela [4] emphasizes, entrepreneurship is a way of being.

#### *A. Personality Traits Allocated to the Profile of Entrepreneurs: Skills/Competencies of Social Entrepreneurs*

The economist Joseph Schumpeter, designed the earliest references to the entrepreneur's profile, when in 1911 he published "The Theory of Economic Development". In addition to considering the entrepreneur as the main element for economic development, Schumpeter pointed out a psychological need for the motivations and aptitudes of the entrepreneurs. For the author, "entrepreneurs are a special

type, and their behavior is a special problem, the driving force of a large number of significant phenomena" [5].

Evidence on the profile of entrepreneurs, in the studies consulted, shows agreement on the characteristics of these individuals. We emphasize the following data: entrepreneurs are ambitious; they look for opportunities and strategies capable of allowing them to maximize their potential and surpass their own limits. They are capable of destroying the economic order of a given context by designing, through the creation of new products and services, new forms of organization [5], [6]. They take risks, always based on a previous evaluation or planning for their actions, that is, all their actions, even the most risky ones, seem to have been the result of a systematic and not impulsive or casual action. All this implies creativity, imagination, and organized, systematic and directed thought for the analysis of the logical and concrete elements of a situation.

McClelland [7] relates the entrepreneur to the need for success, recognition, the desire for power and control. In his research, this author defines the need for achievement - a human will to overcome and distinguish himself, encompassing a set of psychological and behavioral characteristics that include, among others, a taste for moderate risk, initiative and a desire for recognition - as the main motivating force of entrepreneurial behavior.

According to Leite [8], of the personal qualities of an entrepreneur, among many, the following stand out: initiative, vision, courage, firmness, decision, attitude of human respect and ability to organize and manage.

The literature review in the area of Organizational Behavior allows us to understand that there are characteristics that stand out, in particular personality characteristics of individuals, that is, skills related to their demonstrated skill or expertise in personal relationships that make them distinct in relation to others and, consequently, capable of performing creative and innovative actions, modifying with this, the contingencies present in the environments in which they are inserted.

For an entrepreneur, the technical, administrative and entrepreneurial skills are considered necessary. To be an entrepreneur, it is not enough to have technical and administrative skills; it is also necessary to have entrepreneurial skills. These skills relate to change management, leadership, innovation, personal control, ability to take risks and vision of the future. With respect to individual processes, one of the fundamental differences between individuals' behavior in organizations can be attributed, as Griffin and Moorhead [9] refer to personality, which is also one of the most behavioral characteristics of the entrepreneur. In this sense, demonstrating the evidence that personality can be translated in descriptive terms and configured from a series of variables, seems opportune to identify among higher education students psychological characteristics linked to social entrepreneurship and to know the relationship between their personality profile and the business characteristics.

According to Dornelas [6] the characteristics of successful entrepreneurs are: vision; know how to make decisions; being an individuals that makes the difference; know how to exploit opportunities to the fullest; being determined and dynamic; being dedicated; being optimistic and passionate about what they do; being independent and build their own destiny; will to become rich; being team leaders and trainers; being well-connected (networking); being organized; know how to plan; to have knowledge; to assume calculated risks; to create value for society. McClelland [10] identifies three needs / motivations of the entrepreneur: power, affiliation, and success (feeling that one is recognized).

Entrepreneurial skills (interpersonal skills, goal orientation, outcomes, accountability, leadership and persuasion) can be perfectly learned and developed, especially at an early stage in life, and can also be enhanced through psychological coaching.

Motivation, Vision, Creativity and Leadership stand out among the characteristics considered essential for the success of an entrepreneur and their personality traits, noting that successful entrepreneurs demonstrate a high degree of motivation, commitment and persistence to reach the goals.

Galvão and Pinheiro [11], [12], studied how entrepreneurial traits can be measured amongst the Portuguese population, developing an inventory that measures some of the aforementioned traits, but with questions totally adapted to Portuguese language and culture as well as defining the traits according to the interpretation given to them by Portuguese entrepreneurs and business owners.

Rauch and Frese [13] point out that personality traits must be linked to the creation and success of a company. These authors assume that personality traits are directly linked to entrepreneurial behavior, having conducted a test to determine different personality types, called "Big Five personality traits". The Big Five model defines human personality as a hierarchical network of traits, understood theoretically as behavioral predispositions of responses to life situations [14].

The study of previous authors revealed that personality traits that correspond to entrepreneurial tasks - need to achieve goals, innovation, proactivity, stress tolerance, pragmatism and a need to be accepted, among others - predict entrepreneurial behaviors with a more positive relationship than the personality traits that do not correspond to being an entrepreneur.

The social entrepreneur establishes as objective the promotion of the quality of life of the people who are involved, through the resolution of some existing social problem, in detriment of generating financial profit. Social entrepreneurs work implies greater risk, reason why they tend to have greater tolerance in relation to uncertainties, since they work in a more dynamic scenario. They rely mainly on proactivity and innovation in their business, which is of great relevance considering the performance of an idea in a new and unexpected context.

The social entrepreneur has an audacious profile, as any kind of entrepreneur must have. However, he or she exhibits an extra feature: altruism. In addition to thinking about the company's profit, the social entrepreneur shows a concern with others, with impact and social transformation.

From the profile of the social entrepreneur, he stands out as an agent that contributes to social change, with the aim of finding solutions to various community problems, for example, environmental problems. Social entrepreneurs are seen as reforming and audacious agents because their overall goal is not to generate profits and to improve their own financial lives, but rather to find strategies to improve the environment in different contexts, through the development of actions that promote people's quality of life.

#### *B. Psychological Coaching as a Catalyst of Social Entrepreneurship Characteristics*

Psychological Coaching, appeared in the early 2000's, integrated in the Positive Psychology movement, and aims to promote wellness, development of skills and exploration of individual potential, anchored in knowledge and scientific models of Psychology.

Psychological Coaching, at the service of the young entrepreneur, is a process that seeks to optimize and develop competencies, align their professional performance according to the goals of their business, stimulate and accompany their development, both personal and professional, and promote self-motivation, performance and the potential for success. Using the psychological coaching process, entrepreneurial students can also improve the quality of their relationships, plan activities that anticipate results, promote self-confidence and self-esteem.

Psychological Coaching applied to the area of entrepreneurship involves evaluating and analyzing personality traits, personal and professional maturity, the skills evidenced by the young entrepreneur and also those that can be developed, the planning of development actions, training and personal advice to structure the execution of their plans.

The entrepreneur needs to develop three basic competences: vision (related to the ability to dream, imagine and ambition), strategy (bringing together the resources to transform dream, imagination and ambition into a project with a value proposition that the market needs) and execution (implement the business project, set goals and have defined methods to develop the project). In this sense, psychological coaching will catalyze the development of these same key competencies.

Coaching is a process of personal and professional development whose structure and set of tools allow entrepreneurs to improve the performance of their skills and, consequently, to achieve the desired results.

Coaching is an alliance between Coach and Coachee (client) that promotes a process of facilitated learning that helps the client to achieve his or her best, and achieve the goals that he/she wishes in his/her professional and personal

life. Coaching ensures that the client can do its best by learning and developing the way they want.

The option of a psychological coaching program in the area of social entrepreneurship is an asset for young people who wish to develop skills / competences that have a certain objective and aim to broaden their project vision. The Coaching process will help them in their decision-making.

The choice for an integrative model of psychological coaching has a humanistic basis, based on the works of Maslow [15], Rogers [16] and Goleman, Daniel, Boyatzis, and McKee [17], arguing that individuals have a natural developmental tendency towards optimum functioning and that emotions have an effective influence on economic activity and the leadership of people and teams, being a fundamental part of any process of professional and personal development.

Psychological coaching for entrepreneurs is an assisted process of self-knowledge that leads the young entrepreneur to better understand their strengths and to take advantage of them in support of their projects / business plans.

## II. METHODOLOGICAL ASPECTS

### A. General Objectives

For this research, we set out three general objectives, through which we intended to measure the entrepreneurial motivation or aptness of higher education students, their personality traits as well as to propose measures to enhance their skills.

The three objectives were defined as:

- Identify the level of entrepreneurial psychological traits among higher education students;
- Identify the level of certain personality traits among higher education students; and
- Identify relationships between the personality profile and the business characteristics evidenced by the students.

### B. Population and Sample

The sample was composed out of 224 IPB students (undergraduate and master degrees). The sample was chosen by a non-probabilistic and by convenience selection process.

Of the respondents, 69.6% were female, being the two most represented courses “nursing”, with 55 students (24.6% of the total), and “pharmacy”, with 41 students (18.3% of the total).

### C. Type of Study

We performed a descriptive, analytical, exploratory and correlational study of the data, using IBM® SPSS® Statistics, Version 23, for macOS, as analytical tool.

### D. Materials

As data collection instrument, a questionnaire composed out of 3 parts was used.

The first part of the questionnaire was a socio-demographic part to gather information about gender, age, course, if they were planning an entrepreneurial project, and other information about the respondents. The second part of the questionnaire was the Portuguese Entrepreneurial Psychological Traits Inventory [12]. The third and final part of the questionnaire was the Big Five Inventory-44 [18], [19].

#### 1) Portuguese Entrepreneurial Psychological Traits Inventory

This inventory, developed, tested and validated by Galvão and Pinheiro [12], is a 16 items, self report inventory measuring three entrepreneurial traits, specifically adapted to the Portuguese language and culture. The three entrepreneurial traits are Pragmatism, with ten items, Comfort (as in “Need for Comfort”), with three items, and Acceptance (as in “Need to be accepted by others”), also with 3 items. The items are answered on a 6-point Likert-type scale.

Each of the traits is measured by the average scoring of its items. Portuguese entrepreneurs, and in particular business owners, score considerably higher averages on the three dimensions, being those scores statistically relevant.

#### 2) Big Five Inventory-44 (BFI-44)

The BFI-44 [18], [19], is a 44-item, self-report inventory, scored on a 5-point Likert-type scale, measuring the Big Five personality traits designed to assess the Big Five Factors of personality: Extraversion, Agreeableness, Conscientiousness, Neuroticism, and Openness to Experience. The BFI-44 scales have shown substantial internal consistency, retest reliability and clear factor structure, as well as considerable convergent and discriminant validity with longer Big Five measures. For each of the traits we calculated their average score (total score divided by the number of items per trait), to facilitate comparison between each of the traits.

## III. RESULTS

To identify psychological characteristics linked to entrepreneurship among the sample's respondents, we used the data from the answers to the second part of our questionnaire, the Portuguese Entrepreneurial Psychological Traits Inventory [12] and compared our data with that of previous studies. As only 6 of our sample's students were thinking of, or developing an entrepreneurial project, we took as comparative sample group of previous research, the group defined as “students without an entrepreneurial project”. The average scores obtained in each of the three dimensions of the inventory, are presented in table 1.

Table 1 - Average scores Portuguese Entrepreneurial Psychological Traits Inventory

	Pragmatism	Comfort	Acceptance
Mean	4.0246	3.9583	4.5342
N	224	224	224
Std. Deviation	.62315	.93605	.74020



Comparing this to the study of Galvão and Pinheiro [12], where the average scores for the comparison group, for respectively pragmatism, comfort and acceptance were 3.1333, 3.1420 and 3.0802, we can affirm that in the present sample entrepreneurial skills are more evident given the higher average scores. These higher scores, however, seem contradictory to the low number of respondents that were working on an entrepreneurial project. We believe that this may be explained by the fact that the majority (57.1%) of the students are from the health courses (nursing, pharmacy, clinical analysis, etc.) and very few from more technological courses. Most entrepreneurial actions in Portugal are promoted in management schools and technology schools, and therefore health students are normally not even aware that entrepreneurship is an option, even if they show entrepreneurial characteristics.

Given that only 6 students were planning or working on an entrepreneurial project, we were not able to test if there was any statistically significant difference between these students and the remaining ones.

To answer to our second objective, the levels personality traits among our sample's respondents, we used the results from the answers to the BFI-44 by calculating the average scorings for each of the traits. The results are shown in table 2.

**Table 2 - BFI-44 average score and SD, minimum and maximum scores**

	Mean	Std. Deviation	Min.	Max.
Extraversion	3.2723	.63179	1.63	5.00
Agreeableness	3.7168	.43241	2.44	4.67
Conscientiousness	3.5089	.55990	2.00	5.00
Neuroticism	2.2902	.63505	1.38	5.13
Openness	3.5308	.48027	1.80	4.70

As the original authors have not defined a "norm" for the scorings, we can only conclude that on all traits the average scoring is above midway (2.5 points), with the highest average score for Agreeableness.

Finally, to obtain an answer to our third objective, i.e. to identify possible relationships between the personality profile and the entrepreneurial traits evidenced by the students of the sample, we performed an analysis on the correlation between the 3 dimensions of the Entrepreneurial Psychological Traits Inventory and the 5 dimensions of BFI-44. Given that most of the dimensions presented non-normal data, according to the performed Shapiro-Wilk tests, we opted for Spearman's correlation tests. The results are presented in table 2.

**Table 3 - Correlation between Entrepreneurial and Personality Traits**

	Extraver.	Agreeab.	Conscien.	Neurotic.	Openess
<b>Pragmatism</b>	.326**	.155*	.230**	-.145*	.298**
<b>Comfort</b>	.118	.223**	.140*	.102	.000
<b>Acceptance</b>	.190**	.261**	.305**	.004	.277**

Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

From the presented correlation coefficients we can conclude that there are statistically significant relations between several entrepreneurial and personality traits, namely Pragmatism and all five personality traits, between Comfort and Agreeableness and Conscientiousness and between Acceptance with the measured personality traits for the exception of Neuroticism.

These results make us conclude that in our sample higher entrepreneurial traits are statistically related to higher personality traits, being a possible indicator for the existence of higher social concerns among the more entrepreneurial students, making them potential candidates for social entrepreneurs. This conclusion, although still preliminary, is reinforced by the fact that the personality trait with the highest score is Agreeableness, a necessary trait for higher social concerns.

#### IV. DISCUSSION OF THE RESULTS

Although the students of the sample present high average scorings, in what concerns their entrepreneurial traits, only 6 of the students answered that they are thinking of developing an entrepreneurial project. This makes us conclude that for reasons that we cannot affirm from our study, something is holding the students from exploring an entrepreneurial route. This may be caused by the fact that the majority of the students are from areas where in Portugal little or no entrepreneurship initiatives are being carried out (health services). Also, cultural aspects may explain the low levels of entrepreneurial drive or willingness, as entrepreneurship in Portugal is still seen as a big risk [12].

As such, we propose the implementation of entrepreneurship training programs for health students of the IPB, to better analyze their entrepreneurial drive. For the ones that would effectively show entrepreneurial capabilities, a psychological coaching program, available to students during the last year of their degree, could be implemented to help them to further explore their entrepreneurial capabilities and vocation.

In a second moment a plan could be outlined with sessions to develop the skills inherent to a young person who wishes to opt for a social entrepreneurship project. In this program the students will also learn how to develop strategies to deal with business challenges, specially as health related issues are very much in line with several efforts taking place in the social entrepreneurship field.

In the course of the psychological coaching process, cognitive, behavioral, imaging and problem solving techniques will be used in a combined way, aiming at the achievement of SMART objectives by the students.

The coach will work with these young entrepreneurs as an advisor to self-discovery and help in order to evidence a clearer view of themselves and raising fundamental characteristics to determine the success of their project / business.

## V. CONCLUSIONS

From the profile of the social entrepreneur, he stands out as an agent that contributes to social change, with the aim of finding solutions to various community problems, for example, environmental problems. Social entrepreneurs are seen as reforming and audacious agents because their overall goal is not to generate profits to improve their own financial lives, but rather to find strategies to improve the environment in different contexts, through the development of actions that promote people's quality of life.

Social entrepreneurship is a mixture of science and art, rationality and intuition, idea and vision, social sensitivity and responsible pragmatism, utopia and reality, innovative force and practicality. One of the characteristics of the social entrepreneur is to subordinate the economic to the human, the individual to the collective and carries itself a great "dream of transformation of the current reality".

Social entrepreneurs create social values through innovation and the strength of financial resources, regardless of their origin, always aiming at social, economic and community development.

The option of a psychological coaching program in the area of social entrepreneurship is an asset for young people who wish to develop skills / competences that have a certain objective and aim to broaden their projects' vision. The coaching process will help them in their decision-making.

Coaching for entrepreneurs is an assisted process of self-knowledge that leads the young entrepreneur to better understand their strengths and to take advantage of them in support of their projects / business plans.

As in our sample the students show reasonably high values in what concerns their entrepreneurial characteristics, but even so very few are working on entrepreneurial projects, the implementation of training courses and coaching sessions, may help several students, specially the ones from the health courses, to decide their near future career path, namely one of entrepreneurship.

## REFERENCES

- [1] R. Hisrich and M. P. Peters, *Entrepreneurship: Starting Developing, and Managing a New Enterprise*. Homewood, IL: BPI, IrwinMcGraw-Hill, 1989.
- [2] P. F. Drucker, "The discipline of innovation," *Harvard business review*, vol. 76, no. 6, pp. 149-157, November 1998.
- [3] E. Pessoa (2005, June, 27), "Tipos de empreendedorismo: semelhanças e diferenças," *Portal Administradores*. Available at: <http://www.administradores.com.br/artigos/negocios/tipos-de-empreendedorismo-semelhanças-e-diferenças/10993/>
- [4] F. Dolabela, "Pedagogia empreendedora," *Revista de Negócios*, vol. 9, no. 2, pp. 127-130, April/June 2004.
- [5] J. A. Schumpeter, *The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Oxford: Transaction publishers, 1934.
- [6] J. C. A. Dornelas, *Empreendedorismo*. São Paulo: Elsevier, 2008.
- [7] D. C. McClelland, "N achievement and entrepreneurship: A longitudinal study," *Journal of personality and Social Psychology*, vol. 1, no. 4, pp. 389-392, April 1965.
- [8] E. Leite, *O Fenômeno do Empreendedorismo, Criando Riquezas*, 2<sup>nd</sup> ed. Recife: Edições Bagaço 2000.

- [9] R. W. Griffin and G. Moorhead, *Fundamentos do comportamento organizacional*. São Paulo: Ática, 2006.
- [10] D. C. McClelland, *The Achieving Society*. New York: Simon & Schuster, 1961.
- [11] A. Galvão and M. Pinheiro, "Predisposição para o empreendedorismo: as características psicológicas podem-nos dizer algo sobre os empresários portugueses?," in press.
- [12] A. Galvão and M. Pinheiro, "Pragmatism, need for comfort and need for acceptance – psychological traits for successful entrepreneurship in Portugal," in press.
- [13] A. Rauch and M. Frese, "Let's put the person back into entrepreneurship research: A meta-analysis on the relationship between business owners' personality traits, business creation, and success," *European Journal of work and organizational psychology*, vol. 16, no. 4, pp. 353-385, November 2007.
- [14] C. M. Trentini et al, "Correlações entre a EFN-escala fatorial de neuroticismo e o IFP-inventário fatorial de personalidade." *Avaliação Psicológica*, vol. 8, no. 2, pp. 209-217. August 2009.
- [15] Maslow, Abraham H, *The Farther Reaches of Human Nature*. Oxford: Viking, 1971.
- [16] C. R. Rogers, *On Personal Power*. New York: Delacorte, 1977.
- [17] D. Goleman, R. Daniel, E. Boyatzis, and A. McKee, *The New Leaders: Transforming the Art of Leadership into the Science of Results*. London: Little, Brown, 2002.
- [18] O. P. John, E. M. Donahue, and R. L. Kentle, *The big five inventory: Versions 4a and 54*, Berkely, CA: Institute of personality and social research, University of California, 1991.
- [19] O. P. John and S. Srivastava, "The Big Five trait taxonomy: History, measurement, and theoretical perspectives," *Handbook of personality: Theory and research*, vol. 2, pp. 102-138, 1999.

# *Evaluating the effect of glycerine addition on anaerobic digestion*

## *Digestate stability and the application of thermal analysis*

J. G. Cascallana, D. Borge-Diez

School of Industrial and informatics engineering  
Campus de Vegazana, 24009, León, Spain

R. González, X. Gómez

IRENA, Universidad de León  
Avda. Portugal 41, 24071, León, Spain  
rgong@unileon.es

**Abstract**— Anaerobic digestion has become one of the most promising alternatives for the treatment of residues and the production of energy. However, one of the problems most frequently found when digesting swine manure is the low production of biogas and high C:N ratio of these wastes. Co-digestion has been proposed as a way for balancing nutrients and increase biogas productivity. The research focuses on the synergies between anaerobic digestion and the production of biodiesel by the use of crude glycerine as co-substrate in anaerobic digesters. In addition, evaluates the effect of increasing the organic loading rate on the digested material by the use of thermal analysis.

**Keywords**—Anaerobic co-digestion; crude glycerine; swine manure; digestate stability; thermal analysis

### I. INTRODUCTION

The significant increase in the production of biodiesel has resulted in an important stock of crude glycerine which is now considered as a by-product needing further valorisation to obtain high valued-added products [1]. Alternative uses of residual glycerine are limited due to the presence of methanol, water, inorganic salts (residue from the catalyst), unreacted mono-, di- and triglycerides and methyl esters [2]. The use of glycerine as a feed ingredient for livestock rations [3] may also be discarded if contaminants are introduced during the fabrication process. Its direct valorisation as fuel has also been proposed but the heat of combustion of glycerol is much lower than that of diesel, has a high viscosity which make it difficult to spray and the presence of residual salts causes corrosion problems in burners [4].

The use of glycerine as a co-substrate in anaerobic digestion has been studied by several authors [5-7]. However one aspect of relevant consideration is the effect of adding high organic loads of easily degradable materials to digesters. One of the main objectives of the digestion of wastes is the reduction of putrescible potential and the recycling of nutrient by land application of digestates. Astals and coworkers [8] reported on the addition of glycerine to digesters. These authors observed negative impacts on the plant-soil system with the use of digestate as soil conditioners. The addition of a co-substrate may cause a preferential degradation of the

organic matter. Digesters operating at low hydraulic retention time (HRT) may be experiencing an important increase in biogas production thanks to the degradation of the co-substrate but complex components of the feeding mixture may be subjected to an incomplete stabilisation process [9].

Thermal analysis (TA) is a technique that has been widely applied for studying the evolution of organic matter in biological processes [10-11]. The main advantages are associated with the valuable information obtained, easiness of interpretation and the small time needed for sample preparation. TA has proven to be a useful tool for characterising organic material and identify the quality of biological stabilisation process based on its complexity. Provenzano et al. [12] demonstrated that differential scanning calorimetry (DSC) may aid in identifying differences in the quality of digestates under mesophilic and thermophilic anaerobic conditions.

The aim of the present research was to evaluate the digestion of SM when supplemented with glycerines as co-substrate and study the effect on the digested material when increasing the organic loading rate to the digester. For this purpose, digestates were evaluated by means of TA at different stages of the digestion process.

### II. MATERIAL AND METHODS

#### A. Inoculum and substrate

The inoculum was obtained from the anaerobic digester of the wastewater treatment plant (WWTP) of León. The residual glycerine was obtained from a local biodiesel industry located at San Cristobal de Entreviñas (Zamora, Spain). Swine manure (SM) was from a farm located nearby this plant. The manure was screened using a 2 mm sieve to eliminate particles that could obstruct the feeding conducts in semi-continuous digestion experiments.

#### B. Digestion experiments

Batch digestion tests were carried out using 250 ml Erlenmeyer flasks equipped with magnetic stirrers and gasometers for collecting biogas. Temperature was maintained

This research was possible thanks to the financial support of Junta de Castilla y León (Project Reference: LE182U14).

at  $34 \pm 1$  °C by means of a water bath. Three replicates were used for measuring biogas production and composition. Other two reactors were used for sampling of liquid. The head of Erlenmeyer flasks was swept with nitrogen gas at the beginning of the experiment and after each sampling procedure. The ratio of volatile solids (VS) of inoculum to substrate (I/S ratio) was 2. A blank system containing only inoculum was also evaluated. This experiment was used to measure the background biogas production and subtract this value from data obtained from the batch digestion tests. The duration of experiments was based on the total stoppage of biogas production. The volume of gas was measured by the use of bottle gasometers and corrected to standard temperature and pressure (STP), 0 °C and 100 kPa.

The co-digestion with residual glycerine was performed at different proportions of glycerine and SM in the mixture. Experiments were carried out at 4, 8, 12 and 16% (v/v). Batch digestion tests were also evaluated for obtaining the biochemical methane potential (BMP) of SM and residual glycerine. Experiments were denoted as SM, Glycerine and SM\_G based on the substrate, either swine manure, glycerine or the co-digestion followed by the content of glycerine expressed in percentage.

### C. Analytical Techniques

Organic matter was determined using the Walkley-Black method and the organic carbon content was calculated from the organic matter value, using a correlation factor of 1.72. Nitrogen was determined by the Kjeldahl method. The following parameters were monitored during the digestion process: daily biogas production, gas composition, pH, total solids (TS), volatile solids (VS), and the concentration of volatile fatty acids (VFA). TS and VS were measured in accordance with Standard Methods [13].

The composition of the biogas was analysed using a gas chromatograph Varian CP 3800 GC equipped with a thermal conductivity detector (TCD). A 4-m-long column packed with HayeSep Q 80/100 followed by a 1 m long molecular sieve column was used to separate CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>. The carrier gas was helium and the columns were operated at a temperature of 50 °C and a pressure of 331 kPa. VFA (C<sub>2</sub> to C<sub>7</sub>) were determined on the same gas chromatograph, using a flame ionization detector (FID) equipped with a Nukol capillary column (30 m × 0.25 mm × 0.25 m) from Supelco. The carrier gas was helium, and injector and detector temperatures were 220 °C and 250 °C, respectively. The oven temperature was set at 150 °C for 3 min and then increased to 180 °C. The system was calibrated with a mixture of standard VFA from Supelco (for the analysis of fatty acids C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub>). Samples were previously centrifuged (10 min, 3500 × g) and the supernatant filtered through 0.45 µm cellulose filters. The detection limit for VFA analysis was 5.0 mg/l.

Thermogravimetric analysis was performed using a TA Instruments equipment, model SDT2960. 5 mg of sample were used in each experiment. Analyses were carried out under a 100 mL/min of air flow at a heating rate of 10 °C/min from room temperature to 700 °C. The mass loss (TG), derivative curves (DTG) and differential scanning calorimetry (DSC)

were represented as a function of temperature. Substrate and digestate samples were analysed by means of TA. Digestates samples were obtained after sedimentation (3 h) of the reactor liquor. Samples were dried at 105 °C and ground using a ball mill Retsch MM200. The enthalpy  $\Delta H$  of peaks was calculated from the curves, as the area between the baseline of the apparatus and the signal for the exothermic combustion peaks. The co-digestion with residual glycerine was performed at different proportions of glycerine and SM in the mixture. Experiments were carried out at 4, 8, 12 and 16% (v/v). Batch digestion tests were also

## III. RESULTS AND DISCUSSION

### A. Digestion experiments

Digestion of SM and glycerine was performed under batch conditions. Fig. 1a shows the evolution of the cumulative biogas production for both samples. Glycerine presented a higher biogas production with a methane yield ( $Y_{CH_4}$ ) of  $561.3 \pm 55.3$  mL/g VS while, SM had a lower methane production presenting a fast degradation during the first 10 days of the experiment. The methane yield in this case was only  $202.0 \pm 14.2$  mL/g VS.

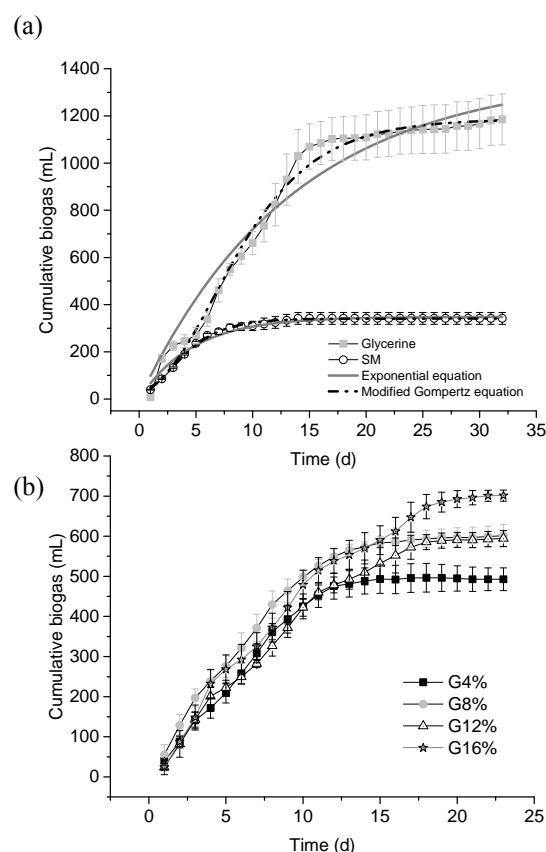


Fig.1. (a) Cumulative biogas production for individual substrates and (b) cumulative biogas curve from Co-digestion tests

The shape of the curve obtained from the co-digestion systems (Fig. 1) showed similar degradation rates for all

mixtures tested. There was an increase in the final gas volume obtained associated with the higher content of glycerine in the mixture. This effect is explained simply by the higher methane yield of glycerine. Table 1 shows methane yields calculated using the experimental values from the previous batch tests (digestion of SM and glycerine as sole substrate) and those obtained experimentally for every mixture evaluated. No synergistic effects were observed from the digestion of the different mixtures since values obtained were alike.

TABLE I. METHANE YIELD ( $Y_{CH_4}$ ) FROM BATCH TESTS AND YIELDS CALCULATED FROM THE DIGESTION OF THE SOLE SUBSTRATE.

Digestion system	Methane yield ( $Y_{CH_4}$ ) (mL $CH_4$ /g VS)	
	Experimental	Calculated <sup>a</sup>
Single digestion		
Glycerine	561.3 ± 55.3	-
SM	202.0 ± 14.2	-
Codigestion of Glycerine and SM		
SM_G4%	251.9 ± 17.3	287.9 ± 25.5
SM_G8%	298.3 ± 17.8	307.0 ± 27.9
SM_G12%	295.0 ± 14.8	326.1 ± 30.3
SM_G16%	337.5 ± 14.3	345.2 ± 32.6

a. Methane yields were calculated using the experimental values from the digestion tests of SM and glycerine as sole substrate

The degradation of SM presented a low content in VFA due to the high proportion of inoculum added to the batch test. Propionic acid content was below 200 mg/L on the first day of the experiment, while acetic acid was below 50 mg/L on the same day. The addition of glycerine to the mixture resulted in an increase in VFA during the first days as shown in figure 2. Increments in the glycerine content of the mixtures increases the content of acetic acid in the digestion tests, but propionic acid remained at relatively low levels.

From the gas curves it was observed that mixtures of glycerine at 4 and 8% presented a higher deviation with regard to the exponential equation. However, this behaviour was not explained based on the presence of VFA since these values were much lower than those found for the higher glycerine content mixtures. Therefore, the exponential model presents a lower capacity for predicting the gas production rate giving higher errors for the estimation of the final cumulative gas production and also for the initial phase of the digestion process.

### B. Thermal analysis

The initial mass loss experienced by all samples was similar disregarding the glycerine content of the mixtures with differences being observed in the intensity of the rate of mass loss experienced around 300 °C (see Fig. 3). The behaviour of the thermal profile at this temperature and above showed differences associated to the greater amount of labile compounds in samples with 8% and 4% glycerine content. However, these samples represent two complete different stages in the digestion process with the later representing a successful digestion. Greater differences, however, can be observed with

regard to the presence of complex compounds in the different samples. The conditions at which the digestion process was performed, highly affected the mineralisation of the organic material and the evolution of the peaks in the temperature range between 400 to 550 °C. At 8% of glycerine content there is a clear decrease in the amount of the remaining material at 700 °C. This sample represents the failure of the digestion process due to VFA build-up and  $H_2S$  inhibition, therefore mineralisation of the organic material was negatively affected.

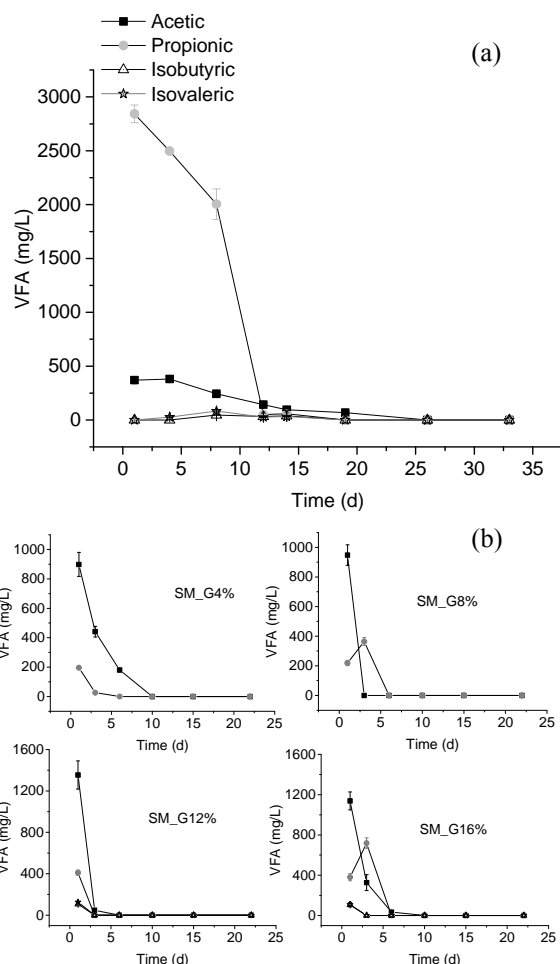


Fig.2. (a) VFA data from batch digestion test of glycerine and (b) mixtures with SM at glycerine content between 4 – 16%.

The thermal profile keeps a close relation with the organic structure of the sample. The presence of complex materials in samples results in a TG curve with a characteristic mass loss around 500 °C. On the other hand, the biodegradability of sample is also affected by the presence of this complex structure, therefore it should be reasonable to assume that a relation between thermal profiles and biodegradability tests may exist. In the present experiments, the digestion of glycerine presented as main feature a high value of gas production rate and high accumulation of VFA associated with the fast degradation rate.

The easiness at which substrate samples are oxidised may probably keep a close relation with the behaviour observed

during batch digestion tests. The use DSC calorimetry as a relevant tool for evaluating the organic matter evolution during anaerobic digestion has been reported by Provenzano et al. [12] demonstrating the close relation between the release of energy at different temperature intervals with the conditions at which digestion was performed.

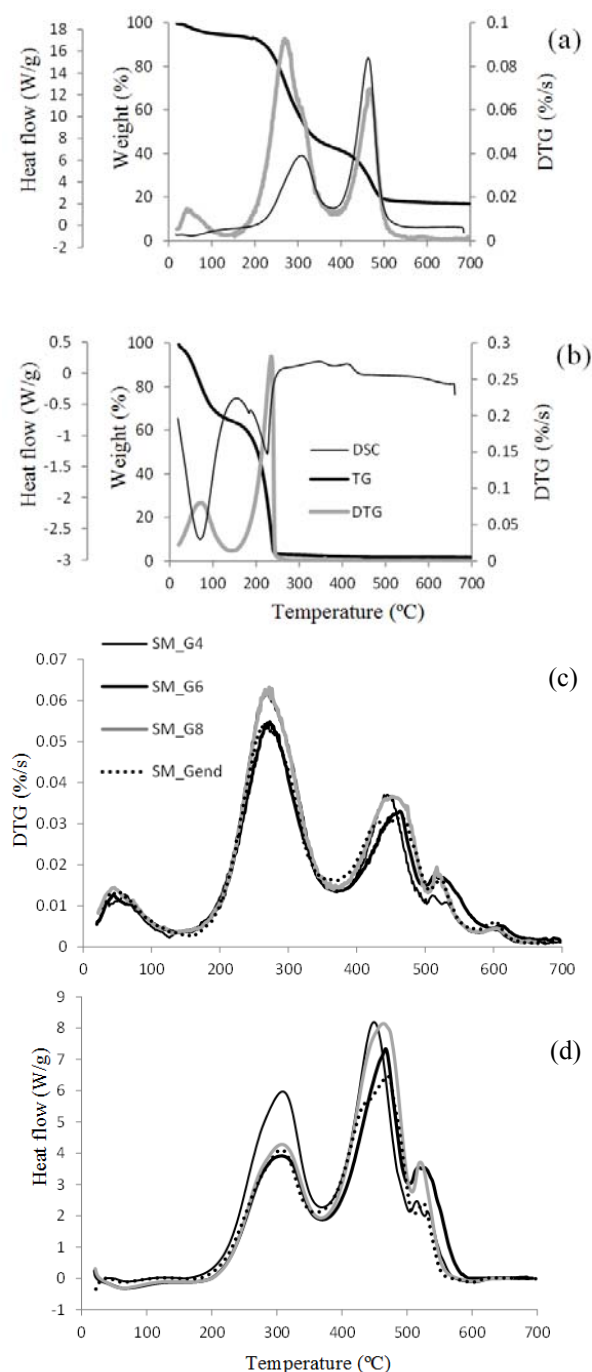


Fig.3. TG, DTG and DSC curves obtained from thermal analysis performed under oxidation atmosphere for (a) SM sample and (b) glycerine. (c) DTG and (d) DSC curves obtained from thermal analysis performed under oxidation atmosphere for the codigestion samples of SM and glycerine at different ratios.

The semi-continuous digestion of the different mixtures of glycerine and SM was performed increasing the content of glycerine. The reactor presented accumulation of VFA during the whole evaluation period and inhibitory conditions associated to the presence of high content of  $H_2S$  in biogas [9]. Digestate samples obtained from each experimental period were evaluated by means of thermal analysis.

At the highest content in glycerine when the digestion process presented a serious failure a high release of these labile compounds is reported in the DTG curve (Fig. 3c). However this signal follows a similar pattern of that one obtained at lower glycerine content when the reactor was operating in a successful way. TG and DTG curves may not seem enough, then to evaluate the evolution of the degradation process, at least when considering the low temperature region. On the other hand, differences are easily observable around 400 – 550 °C. The loss of mass in this region reflects the oxidation of complex material and it is easily identified by the greater amount of this material in the sample representing a failure in digestion. The SM\_G8 presents a wider peak centred on 450 °C followed by a smaller peak centred around 520 °C. This sample was obtained from the digester after a failure of the process when a steep decline in biogas production was reported.

The mass loss experienced by the sample is associated with the heat release or absorption from the environment, as it can be observed in DSC profiles depending of the temperature region considered (Fig. 3d). Samples which presented a similar pattern at the low temperature region, now present a clear difference regarding the release of energy. The SM\_G4 sample presents a greater release at the temperature range corresponding to the mass loss experienced by labile components, while the SM\_G8 sample presents a peak with lower intensity at this same region. This phenomenon is explained by the presence of residual glycerine which has not been completely degraded by microorganisms, reducing the DSC signal due to the presence pyrolytic reactions undergone by the remaining glycerine in the digestate sample. This residual glycerine presents an endothermic peak causing a decrease in the global DSC signal. Although DSC profiles are a useful tool for evaluating the fate of the digestion processes, care should be taken when this type of substrates are evaluated.

#### IV. CONCLUSIONS

Batch digestion tests indicated that co-digestion with crude glycerine was successfully performed at any of the ratios tested under conditions performed for the experimental set-up. However the application of these same ratios to a continuous digestion system resulted in failure of the process at 8% of glycerine content. The addition of the co-substrate resulted in an increase in biogas production at lower ratios thanks to the increase in specific biogas production associated with the presence of the co-substrate, but further increase in this ratio caused the inhibition of the digestion process.

Evaluating the co-digestion under continuous conditions showed the changes experienced by the quality of the digestate obtained. Thermal profiles represented a variation in the content of labile component and incomplete degradation of complex material. Care should be taken when interpreting DSC



results since the endothermic character associated to the presence of crude glycerine may lead to misinterpretation of digestate stability.

#### ACKNOWLEDGMENT

Authors thank the financial support of Junta de Castilla y León (Project Reference: LE182U14).

#### REFERENCES

- [1] Z. Gholami, A.Z. Abdullah, and K.T. Lee, "Dealing with the surplus of glycerol production from biodiesel industry through catalytic upgrading to polyglycerols and other value-added products," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol. 39, pp. 327-341, 2014.
- [2] L. Castrillón, Y. Fernández-Nava, P. Ormaechea, and E. Marañón, "Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerine," *Bioresource Technol.*, vol. 102, pp. 7845-7849, 2011.
- [3] J. Popp, M. Harangi-Rákos, Z. Gabnai, P. Balogh, G. Antal, and A. Bai., "Biofuels and Their Co-Products as Livestock Feed: Global Economic and Environmental Implications," *Molecules*, vol. 21(3), pp. 285, 2016.
- [4] P. Manara, and A. Zabaniotou, "Co-valorization of Crude Glycerol Waste Streams with Conventional and/or Renewable Fuels for Power Generation and Industrial Symbiosis Perspectives," *Waste Biomass. Valor.* vol. 7, pp. 135, 2016. doi:10.1007/s12649-015-9439-3
- [5] A. Lobato, M.J. Cuetos, X. Gómez, and A Morán, "Improvement of biogas production by co-digestion of swine manure and residual glycerine", *Biofuels*, vol. 1(1), pp. 59-68, 2010.
- [6] S. Nuchdang, and C. Phalakornkule, "Anaerobic digestion of glycerol and co-digestion of glycerol and pig manure," *J. Environ. Manage.*, vol. 101, pp. 164-172, 2012.
- [7] P. Ormaechea, L. Castrillón, E. Marañón, Y. Fernández-Nava, L. Negral, and L. Megido, "Influence of the ultrasound pretreatment on anaerobic digestion of cattle manure, food waste and crude glycerine," *Environ. Technol.*, vol. 38(6), pp. 682-686, 2017.
- [8] S. Astals, V. Nolla-Ardèvol, and J. Mata-Alvarez, "Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability," *J. Biotechnol.*, vol. 166(3), pp. 97-104, 2013.
- [9] J. Fierro, E.J. Martínez, J.G. Rosas, R.A. Fernández, R. López, and X. Gomez, "Co-Digestion of swine manure and crude glycerine: Increasing glycerine ratio results in preferential degradation of labile compounds," *Water Air Soil Poll.*, vol. 227(3), pp. 1-13, 2016.
- [10] E.J. Martínez, M.V. Gil, J.G. Rosas, R. Moreno, R. Mateos, A. Morán, and X. Gómez, "Application of thermal analysis for evaluating the digestion of microwave pre-treated sewage sludge," *J. Therm. Anal. Calorim.* pp. 1-11, 2016. doi:10.1007/s10973-016-5460-4
- [11] Lim, S. L., & Wu, T. Y. (2015). Determination of maturity in the vermicompost produced from palm oil mill effluent using spectroscopy, structural characterization and thermogravimetric analysis. *Ecological Engineering*, 84, 515-519.
- [12] M.R. Provenzano, A.D. Malerba, A. Buscaroli, D. Zannoni, and N. Senesi, "Anaerobic digestion of municipal solid waste and sewage sludge under mesophilic and thermophilic conditions. *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 111(3), pp 1861-1870, 2013.
- [13] Federation WE, Association APH. Standard methods for the examination of water and wastewater. Am Public Heal Assoc Washington, DC, USA 2005.